আলোকের সমবর্তন

সুহাসরঞ্জন বন্দ্যোপাধ্যায়, এম.এস-সি.
পদার্থবিদ্যার অধ্যাপক, বিদ্যাসাগর কলেজ, কলিকাতা

পশ্চিমবঙ্গ রাজ্য পুস্তক পর্ষদ

ALOKER SAMABARTAN
By SUHAS RANJAN BANERJEE
WEST BENGAL STATE BOOK BOARD

প্রকাশক :
পশ্চিমবঙ্গ রাজ্য পুস্তক পর্ষদ,
আর্য ম্যানসন (নবম-তল),
৬।এ, রাজা সুবোধ মল্লিক স্কোয়ার,
কলিকাতা-৭০০ ০১৩

মুদ্রক :
শ্রীত্রিদিবেশ বসু,
কে. পি. বসু প্রিণ্টিং ওয়ার্কস,
১১, মহেন্দ্র গোস্বামী লেন,
কলিকাতা-৭০০ ০০৬

প্রথম প্রকাশ :
সেপ্টেম্বর, ১৯৭৮

Published by Prof. Pradyumna Mitra, Chief Executive Officer, West Bengal State Book Board under the Centrally Sponsored Scheme of production of books and literatures in regional languages at the University level, of the Government of India in the Ministry of Education and Social Welfare (Department of Culture), New Delhi.

ভূমিকা

পশ্চিমবঙ্গ রাজ্য পুস্তক পর্ষদ বাংলাভাষায় বিশ্ববিদ্যালয় স্তরের পুস্তক-প্রকাশনার ব্যাপক উদ্যোগ নিয়েছেন। সেই আহ্বানে সাড়া দেওয়ার একটি ক্ষুদ্র প্রচেষ্টা হচ্ছে 'আলোকের সমবর্তন' রচনা। বইটি সাম্মানিক স্নাতক (ডিগ্রী-অনার্স) মানের উপযুক্ত। শিক্ষার্থী ও অনুসন্ধিৎসু পাঠকের কাছে বক্তব্যকে, সহজবোধ্য করার দিকে সর্বদা লক্ষ্য রাখা হ'য়েছে। সর্বত্র প্রচলিত আধুনিক চলিত-ভাষা বইয়ে ব্যবহৃত হ'য়েছে যাতে ভাবপ্রকাশে কোনও আড়ষ্টতা না থাকে। পরিভাষার ক্ষেত্রে কলিকাতা বিশ্ববিদ্যালয় কর্তৃক প্রকাশিত 'বৈজ্ঞানিক পরিভাষা' পুস্তককেই অনুসরণ করেছি। যেখানে উপযুক্ত শব্দ পাওয়া যায়নি সেখানে সহজবোধ্য নূতন শব্দ ব্যবহার করা হ'য়েছে।

বিদ্যাসাগর কলেজের পদার্থবিদ্যা বিভাগের প্রধান শ্রীযুক্ত চণ্ডীচরণ বন্দ্যোপাধ্যায় বইটির লেখায় যে প্রেরণা দিয়েছেন সেইজন্যে প্রথমে তাঁর প্রতি কৃতজ্ঞতা জানাচ্ছি। যাদবপুরের ভারতীয় বিজ্ঞানানুশীলন সমিতির অধ্যাপক ডক্টর গৌরাঙ্গসুন্দর কাষ্ঠ পাণ্ডুলিপি আদ্যোপান্ত দেখে রচনাটি ত্রুটিশূন্য করার উদ্দেশ্যে যে শ্রম স্বীকার করেছেন সেজন্য তাঁর কাছে আমি বিশেষভাবে কৃতজ্ঞ। তরুণ শিল্পী শ্রীগোরা দাসের নিখুঁতভাবে ছবিগুলি আঁকার প্রয়াস প্রশংসনীয়। কে. পি. বসু প্রিণ্টিং ওয়ার্কসের শ্রীযুক্ত দাশরথি মুখোপাধ্যায় মহাশয় বইখানির মুদ্রণ পরিপাট্য প্রদানের জন্য যে পরিশ্রম করেছেন তা সত্যিই অতুলনীয়।

আমার সর্বশেষ ও অশেষ কৃতজ্ঞতা পশ্চিমবঙ্গ পুস্তক পর্ষদের মুখ্য প্রশাসন আধিকারিক অধ্যাপক প্রদ্যুম্ন মিত্রের প্রতি, যাঁর ঐকান্তিক উদ্যম ব্যতীত রচনাটি দিনের আলো দেখতে পেত না।

বিনীত

১৫ আগস্ট, ১৯৭৮ — সুহাসরঞ্জন বন্দ্যোপাধ্যায়

সূচীপত্র

বিষয় পৃষ্ঠা

আলোকের

সমবর্তন

সূচনা

আলোকের সমবর্তন আধুনিক পদার্থবিদ্যায় একটি অত্যন্ত প্রয়োজনীয় বিষয়। প্রযুক্তিবিদ্যায় সমবর্তিত আলোকের ব্যবহার খুব ব্যাপক। আলোকের ব্যতিচার (Interference), ব্যবর্তন (Diffraction) প্রভৃতি ঘটনার ব্যাখ্যা **হাইগেন্‌স্** (Huyghens) সপ্তদশ শতাব্দীর শেষভাগেই সন্তোষজনকভাবে করেছিলেন। কিন্তু বায়ুতে শব্দতরঙ্গের মতো তিনি আলোকতরঙ্গকে **অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ** (Longitudinal waves) ধরে-ছিলেন। সেই কারণেই সমবর্তনের (polarisation-এর) সন্তোষজনক ব্যাখ্যা সেই সময়ে দেওয়া সম্ভব হয় নি। তার শতাধিক বৎসর পরে 1816 খৃষ্টাব্দে **ফ্রেনেল** (Fresnel) আলোকতরঙ্গকে **তির্যকতরঙ্গ** (Transverse waves) ধরে নিয়ে সমবর্তনের সন্তোষজনক ব্যাখ্যা করেছিলেন। আরও প্রায় 60 বৎসর পরে আঠারোশ সত্তর দশকে **ক্লার্ক ম্যাক্সওয়েল তড়িৎ-চুম্বকীয় তত্ত্বের** (Electro-magnetic Theory) অবতারণা করেন। ক্রমশ নানাবিধ পরীক্ষা-নিরীক্ষার সাহায্যে প্রমাণিত হয় আলোকতরঙ্গও এক ধরনের তড়িৎ-চুম্বকীয় তরঙ্গ এবং সেইহেতু আলোক-তরঙ্গ তির্যক না হ'য়ে পারে না। আবার তির্যক তরঙ্গ মাত্রেরই সমবর্তিত হওয়ার বৈশিষ্ট্য বর্তমান।

সুতরাং সমবর্তিত আলোকের আলোচনায় তরঙ্গ কী, তির্যক ও অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গের পার্থক্য, তড়িৎ-চুম্বকীয় তরঙ্গের বৈশিষ্ট্য ও তার উপযুক্ত মাধ্যম প্রভৃতি বিষয়ের প্রাথমিক জ্ঞান অপরিহার্য। সেইজন্য এই পুস্তকের প্রথমে তরঙ্গতত্ত্ব সম্বন্ধে একটি অধ্যায় সংযোজিত হয়েছে।

সমবর্তিত আলোকের ব্যাপক প্রয়োগের বিষয় চিন্তা করলে বিস্মিত হতে হয়। উদ্ভিদ্ ও প্রাণীজগতে প্রাকৃতিকভাবে উৎপন্ন সমবর্তিত আলোকের ব্যবহার এই প্রসঙ্গে প্রথমেই উল্লেখযোগ্য। নীল আকাশ থেকে বিক্ষেপিত (scattered) আলোকরশ্মির একটা ভগ্নাংশ সমবর্তিত আলোক। জানা গেছে এই প্রাকৃতিকভাবে সমবর্তিত আলোকের সমবর্তনের দিক (direction of polarisation) সম্বন্ধে মৌমাছি, পিপীলিকা প্রভৃতি কতকগুলি কীট-পতঙ্গের বিস্ময়কর একটা অনুভূতি থাকে। তারই সাহায্যে এরা পথের নিশানা ঠিক রাখে এবং খাদ্য-অন্বেষণে অনেকদূর চলে গেলেও আবার স্বস্থানে

ফিরে আসতে পারে। সমবর্তিত আলোক তাদের কাছে নাবিকের কম্পাসের মতো কাজ করে। আবার কতকগুলি উদ্ভিদের বৃদ্ধির দিক তাদের উপর আপতিত সমবর্তিত আলোকের সমবর্তনের দিকের উপর নির্ভর করে। গ্রহান্তর থেকে প্রতিফলিত বেতার তরঙ্গের সমবর্তনের প্রকৃতি থেকে ঐ সমস্ত নভশ্চর বস্তুর গতিবিধি সম্বন্ধে অনেক প্রয়োজনীয় তথ্যের সন্ধান পাওয়া যায়। রসায়ন, যন্ত্রবিদ্যা, কেলাসগঠনতত্ত্ব (crystallography) প্রভৃতি বিষয়ের অন্তর্ভুক্ত নানাবিধ অনুসন্ধান কার্যে সমবর্তিত আলোকের সাহায্য নেওয়া হয়। ত্রিমাত্রিক (three dimensional) চলচ্চিত্রেও সমবর্তিত আলোকের ব্যবহার উল্লেখযোগ্য। চিনি-উৎপাদন শিল্পে পোলারিমিটার বা শর্করা-মিটারের (saccharimeter) ব্যবহার বহুল প্রচলিত। আখের বা বীটের রসে শর্করার মাত্রা নির্ণয়ের জন্য এই যন্ত্রের ব্যবহার হয়ে থাকে।

সমবর্তিত আলোক তরঙ্গতত্ত্বের উপর প্রতিষ্ঠিত সনাতন পদার্থবিদ্যার (Classical Physics) অন্তর্ভুক্ত একটি বিষয় হওয়া সত্ত্বেও পূর্বে উল্লিখিত প্রয়োগগুলির জন্যে আধুনিক পদার্থবিদ্যায় প্রসঙ্গটি এত প্রয়োজনীয়।

প্রথম অধ্যায়

তরঙ্গতত্ত্ব ও আলোকের স্বরূপ

১·১ শক্তির স্থানান্তর প্রক্রিয়া :

প্রাকৃতিক জগতে নানারকম শক্তি বিভিন্ন উপায়ে একস্থান থেকে অন্যত্র স্থানান্তরিত হচ্ছে। যেমন আলোক ও তাপের উৎস থেকে আলোক ও তাপ, শব্দের উৎস থেকে শব্দ, বিদ্যুৎ-শক্তির উৎস থেকে তড়িৎ প্রভৃতি শক্তির সঞ্চালন। শক্তির এই সঞ্চালন কখনও বাস্তব মাধ্যমের ভিতর দিয়ে কখনও বা শূন্য স্থানের ভিতর দিয়ে সম্পন্ন হয়। কিন্তু কি ভাবে? জলের উপরে কোনও বিক্ষোভ সৃষ্টি হলে তা জলের তলের উপর দিয়ে তরঙ্গাকারে চারিদিকে ছড়িয়ে পড়ে। শব্দের উৎস থেকে গ্যাসীয়, তরল বা কঠিন মাধ্যমকে অবলম্বন ক'রে শব্দশক্তি সঞ্চালিত হয়। এ সমস্ত আমরা জানি। এখন প্রশ্ন হচ্ছে সূর্য বা দূরবর্তী কোনও নক্ষত্র থেকে কি রকম মাধ্যমের সাহায্যে আলোকশক্তি প্রবাহিত হয়ে আমাদের পৃথিবীতে আসে। কি প্রক্রিয়াতেই বা স্বচ্ছ এবং তরল বা কঠিন মাধ্যমের ভিতর দিয়ে আলোকশক্তি সঞ্চালিত হয়? এই প্রশ্নের উত্তর জানবার উদ্দেশ্যে বহুবিধ পরীক্ষা-নিরীক্ষা করতে হয়েছে। অবশেষে একটি যুক্তিসঙ্গত উত্তর পাওয়া গেছে। তারই সংক্ষিপ্ত আলোচনা পরবর্তী অনুচ্ছেদগুলিতে করা হ'ল।

১·২ আলোকের স্বরূপ :

কণাবাদ বনাম তরঙ্গবাদ : আমরা জানি আলোক এক প্রকারের শক্তি। এই শক্তির স্থানান্তর কি প্রক্রিয়ায় হয় এ সম্বন্ধে পদার্থবিদ্‌দের মধ্যে বহুদিন থেকে একটা মতপার্থক্য ছিল। সপ্তদশ শতাব্দীতে আলোকের তরঙ্গতত্ত্ব ও কণাতত্ত্ব (Corpuscular theory)—এই দুটি পরস্পরবিরোধী মত প্রচলিত ছিল। স্বয়ং **নিউটন** কণাবাদের সমর্থক ছিলেন। কণাবাদ অনুসারে কল্পনা করা হ'ত কোনও আলোকের উৎস থেকে অসংখ্য আলোকের কণা প্রতিমুহূর্তে নির্গত হয় এবং চারিদিকে ছড়িয়ে পড়ে। এই কণাগুলি আমাদের চোখে প্রবেশ ক'রলে দৃষ্টির অনুভূতি জন্মায়। কণাগুলি সম্বন্ধে

স্পষ্ট ধারণা সে যুগের কণাবাদের সমর্থকরা গড়ে তুলতে পারেন নি। তাঁরা বলতেন কণাগুলি আয়তনহীন ও ভরহীন বিন্দুর মতো। কণাবাদের সাহায্যে আলোকের সরল-রৈখিক গতি, প্রতিফলন, প্রতিসরণ, এমন কি বিচ্ছুরণ (dispersion) পর্যন্ত তাঁরা ব্যাখ্যা করেছিলেন। কিন্তু ব্যতিচার (interference), ব্যবর্তন (diffraction) ও সমবর্তন (polarisation) প্রভৃতি ঘটনার সন্তোষজনক ব্যাখ্যা কণাবাদ দিতে পারে নি। অপরপক্ষে হাইগেন্‌স্‌, ফ্রেনেল, ইয়ং (Young) প্রভৃতি পদার্থবিজ্ঞানীরা তরঙ্গবাদের অবতারণা করেন এবং বিভিন্ন ক্ষেত্রে তার সাফল্যজনক প্রয়োগের সাহায্যে এই মতবাদকে প্রতিষ্ঠিত করেন। তরঙ্গবাদের সাহায্যে তাঁরা প্রতিফলন, প্রতিসরণ, বিচ্ছুরণ, ব্যতিচার, ব্যবর্তন ও সমবর্তনের সন্তোষজনক ব্যাখ্যা করেন এবং প্রতিপন্ন করেন যে আলোকের সরলরৈখিক গতি স্থূলভাবে প্রযোজ্য একটি নিয়ম এবং প্রতিবন্ধকের ধার দিয়ে আলোকরশ্মি কিছুটা ঘুরেও চলতে পারে।

তা ছাড়া নিউটন তাঁর কণাবাদে কল্পনা করেছিলেন লঘু মাধ্যমের তুলনায় গুরু মাধ্যমে আলোকের বেগ অধিক। এই কল্পনার ভিত্তিতেই তাঁর তত্ত্বে আলোকের প্রতিসরণের ব্যাখ্যা করা সম্ভব হয়েছিল। কিন্তু তরঙ্গতত্ত্ব অনুসারে লঘু মাধ্যমের তুলনায় গুরু মাধ্যমে আলোকের বেগ কম হওয়া উচিত। ফিজু (Fizeau) এবং ফুকোর (Foucault) পরীক্ষালব্ধ ফল থেকে জানা যায় আলোকের বেগ গুরু মাধ্যমেই কম। অতএব এই পরীক্ষার ফলশ্রুতি কণাবাদের সিদ্ধান্তের বিরোধী। এই সকল কারণে তরঙ্গবাদ উনিশ শতকের প্রায় শেষ পর্যন্ত দু'শ বছর ধরে একাধিপত্য বিস্তার ক'রে ছিল এবং কণাবাদের কথা বিজ্ঞানজগৎ প্রায় বিস্মৃত হতে চলেছিল। এমন সময় দু'একটি ঘটনার আবিষ্কার হয়, যাদের তরঙ্গবাদের সাহায্যে ব্যাখ্যার সমস্ত চেষ্টা ব্যর্থ হয়; যেমন ফটো-তড়িৎ ক্রিয়া (photo-electric effect)। কোনও উপযুক্ত ধাতু যথা সোডিয়াম, পটাসিয়াম বা সিজিয়ামের একটি পাতের উপর আলোকরশ্মি বা এক্স-রশ্মি পড়লে ঐ ধাতুপাত থেকে ইলেকট্রন নির্গত হতে থাকে। একেই বলে ফটো-তড়িৎ ক্রিয়া। দেখা গেছে আপতিত আলোকের কম্পাঙ্ক একটা নির্দিষ্ট মানের কম হ'লে, যত তীব্র আলোকই আপতিত হোক, কিছুতেই ইলেকট্রন নির্গমন সম্ভব হবে না। কিন্তু একটি খুব ক্ষীণ আলোকপ্রভব (source) যদি উপযুক্ত কম্পাঙ্ক-বিশিষ্ট আলোক বিকিরণ করে, তা হলে তার আলোকও যথেষ্ট দূরে অবস্থিত ঐ রকম ধাতুপাতের উপর প্রায় আপতিত হওয়া মাত্রই ফটো-তড়িৎ ক্রিয়া

আরম্ভ হয়। তরঙ্গতত্ত্ব অনুসারে গণনা করলে দেখা যাবে এক্ষেত্রে ফটো-তাড়িৎ ক্রিয়া সুরু হতেই কয়েকঘণ্টা সময় লাগা উচিত। এই সমস্ত ঘটনার ফলে নতুন পর্যায়ে কণাবাদের আলোচনা আবার প্রাধান্য লাভ করে।

ম্যাক্স প্ল্যাঙ্ক (Max Planck) কণাবাদ সম্বন্ধে স্পষ্ট ধারণার সৃষ্টি করেন, তাঁর নামে পরিচিত প্ল্যাঙ্ক প্রকল্পের (Planck hypothesis) সাহায্যে। এই প্রকল্প অনুসারে আলোকের প্রত্যেকটি 'কণা' $E=h\nu$ পরিমাণ শক্তিবিশিষ্ট হয়, যখন ν = আলোকতরঙ্গের কম্পাঙ্ক এবং h = প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবক (Planck's constant)। দেখা যাচ্ছে, প্ল্যাঙ্কের প্রকল্পে বলা হচ্ছে শক্তির বিস্তার ঘটছে ছোট ছোট পরস্পরবিচ্ছিন্ন শক্তির কণা বা quantum-এর দ্বারা। এইজন্য এই প্রকল্পকে **কোয়ান্টাম প্রকল্প** (quantum hypothesis)ও বলা হয়। এই তত্ত্বই ক্রমশ পরিপূর্ণতা লাভ করে **ফোটন** (Photon) নামে একটি নূতন কণার কল্পনায়। ইলেকট্রন, প্রোটন প্রভৃতি মূল কণাগুলির (fundamental particles) মতো আজকাল ফোটনকেও একটি মূল কণা ব'লে বিবেচনা করা হয়ে থাকে। কেবল ফটো-তাড়িৎ নয়, পদার্থের পরমাণু থেকে আলোকশক্তি নির্গমনের প্রকৃতি, পরমাণুর গঠন প্রভৃতি বহু ঘটনার ব্যাখ্যা করতে ফোটন তত্ত্ব বিপুলভাবে সাহায্য করেছে।

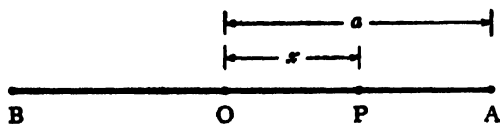
তা হলে দেখা যাচ্ছে তরঙ্গবাদ আলোকের কতকগুলি ঘটনাকে সাফল্য-জনকভাবে ব্যাখ্যা করতে পারে, আবার ফোটনবাদ অপর কতকগুলি ঘটনার ব্যাখ্যায় অপরিহার্য। এই দুই পরস্পর বিপরীত তত্ত্ব বিংশ শতাব্দীর প্রথম দিকে পদার্থবিজ্ঞানীদের যথেষ্ট সঙ্কটের মধ্যে ফেলেছিল। কিন্তু ক্রমশ উভয়তত্ত্বের মধ্যে একটা সামঞ্জস্য বিধান করা সম্ভব হ'য়েছে। বিশেষ বিশেষ ক্ষেত্রে কণার তরঙ্গের মতো আচরণ এবং তরঙ্গের কণার মতো আচরণ তত্ত্বগত এবং পরীক্ষামূলকভাবে প্রমাণিত হয়েছে। তাই তরঙ্গবাদ ও কণাবাদ পরস্পর বিরোধী নয়, তারা বরং পরস্পরের পরিপূরক এবং নিজের নিজের ক্ষেত্রে প্রত্যেকে কার্যকর। এইজন্য বলা হয়, আলোকের 'তরঙ্গ ও কণা হচ্ছে একটিই প্রাকৃতিক ঘটনার দুটি পর্যবেক্ষণযোগ্য রূপ' (two observable aspects of a single phenomenon)। এই সমন্বয়সূচক তত্ত্বকে বিংশ শতাব্দীতে বলা হয় **আলোকের দ্বৈতবাদ** (Dualistic theory of light)।

আমাদের এই পুস্তকে অবশ্য কণাবাদের সাহায্য নেবার প্রয়োজন হবে না।

তরঙ্গবাদের সাহায্যেই সমবর্তিত আলোকের প্রকৃতি সম্বন্ধে আলোচনা করা হবে।

১.৩ তরঙ্গগতি ও তার বৈশিষ্ট্য ঃ

এই অধ্যায়ে তরঙ্গগতি ও তার বৈশিষ্ট্য সম্বন্ধে কিঞ্চিৎ দীর্ঘ পর্যালোচনা করা হবে যাতে পরবর্তী পাঠের আলোচ্য বিষয়গুলি বুঝতে সাহায্য হয়। যদিও পরে দেখানো হবে যে আলোক তরঙ্গের ক্ষেত্রে কোনও বাস্তব মাধ্যমের প্রয়োজন হয় না, তথাপি এক্ষেত্রে সুবিধার জন্যে বাস্তব মাধ্যমে তরঙ্গের প্রকৃতি সম্বন্ধে আলোচনা করা হবে। সমস্ত তরঙ্গগতির উৎসে থাকে কোনও সরল দোলগতি। সেই কারণে প্রথমে সরল দোলগতি সম্বন্ধে কিঞ্চিৎ আলোচনা হ'ল।

সরল দোলগতি (Simple Harmonic Motion) ঃ এই বিশ্বে এমন কোনও কোনও প্রাকৃতিক ঘটনা আমরা প্রত্যক্ষ করি, যারা নির্দিষ্ট সময় অন্তর পুনরাবৃত্তি করে। এদের বলা হয় পর্যাবৃত্ত ঘটনা (Periodic phenomena)। যেমন ঘড়ির কাঁটা ও পেণ্ডুলাম, পৃথিবী দৈনিক ও বার্ষিক

চিত্র ১
সরল দোলগতি।

গতি প্রভৃতি। এইরকম কোনও পর্যাবৃত্ত ঘটনা কতকগুলি বৈশিষ্ট্য-যুক্ত হলে তাকে বলে সরল দোলগতি। মনে রাখা যাক m ভরবিশিষ্ট একটি বস্তু-কণার অতাড়িত (undisturbed) মধ্য অবস্থান (mean position) হ'চ্ছে O বিন্দু। কণাটি কোনও স্থিতিস্থাপক বলের সাহায্যে O বিন্দুতে ধৃত আছে। এখন একটি বহিঃস্থ বলের সাহায্যে কণাটিকে O বিন্দু থেকে অল্প দূরে A বিন্দুতে অপসারিত করা হ'ল এবং তাকে সেইখানে ছেড়ে দেওয়া হ'ল। এইরকম ক্ষেত্রে স্থিতিস্থাপক বলের জন্য কণাটি পুনরায় O বিন্দুর দিকে অগ্রসর হবে এবং নিউটনের প্রথম সূত্র অনুসারে O বিন্দুতে এসে থামবে না, বরং বিপরীত দিকে OA-এর সমান দূরত্বে B বিন্দু পর্যন্ত যাবে। তারপর

আবার O বিন্দুর দিকে ক্রিয়াশীল বলের জন্যে O বিন্দুর দিকে অগ্রসর হবে। এইভাবে কণাটি উভয়দিকে পুনঃ পুনঃ যাতায়াত করে একটি সরল দোলগতি উৎপন্ন করবে।

সরল দোলগতির সংজ্ঞা এইরকমভাবে দেওয়া হয়েছে, 'কোনও কণার উপর ক্রিয়াশীল বল যদি সর্বদা কোনও নির্দিষ্ট স্থিরবিন্দু থেকে কণাটির আপাত অবস্থানের দূরত্বের সমানুপাতী এবং স্থির বিন্দুটির অভিমুখী হয়, তা হলে কণাটি যে-রকম পর্যাবৃত্ত গতিতে চালিত হবে তাই হচ্ছে সরল দোলগতি।' এই সংজ্ঞাকে অনুসরণ ক'রে সরল দোলগতির ব্যবকল সমীকরণ (differential equation) নিম্নলিখিতভাবে নির্ণয় করা যায়ঃ

যদি কোনও t সময়ে স্থিরবিন্দু থেকে কণাটির অবস্থান P বিন্দুর দূরত্ব x হয় এবং তার উপর স্থিতিস্থাপক বলের পরিমাণ হয় F, তবে নিউটনের দ্বিতীয় সূত্র অনুসারেঃ

$m\ddot{x} = \mathrm{F} = -\mathrm{K}.x$, যখন K = স্থিতিস্থাপক বলের পরিমাণ

বা $m\ddot{x} + \mathrm{K}x = 0$ নির্ণয়কারী একটি ধ্রুবক।

সমীকরণটির সাধারণ সমাধান (General solution) হবে,

$$x = a \cos (\omega t + \delta) \qquad \cdots \qquad \cdots \qquad \text{(i)}$$

$t = 0$ এবং $\delta = 0$ হলে, $x = a = \mathrm{OA}$ হবে।

এখানে a-কে বলা হয় সরল দোলগতির **বিস্তার** (Amplitude)। যদি T সেকেণ্ড অন্তর কণাটি O বিন্দুর ভিতর দিয়ে একই দিকে যায়, তবে T-কে বলা হবে গতির **পর্যায় কাল** (Period)। কণাটি প্রতি সেকেণ্ডে যতগুলি দোলন করবে তাকে **কম্পাঙ্ক** (Frequency) f বলা হয়।

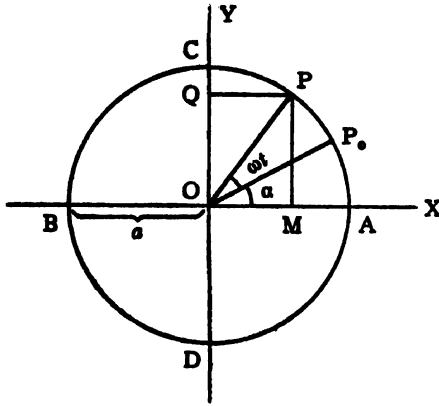
ω-কে বলা হয় সরল দোলগতির **কৌণিক কম্পাঙ্ক** (Angular frequency) বা **স্পন্দাঙ্ক** (Pulsatance)।

সহজেই দেখা যাচ্ছে, $\omega = \dfrac{2\pi}{\mathrm{T}}$, $f = \dfrac{1}{\mathrm{T}}$ এবং $\omega = 2\pi f$.

সরল দোলগতির সমীকরণের (i) চিহ্নিত সমাধান থেকে দেখা যাচ্ছে, একটি বৃত্তীয় গতির সাহায্যে সরল দোলগতিকে সহজে উপস্থাপিত করা যায়।

O কেন্দ্র এবং $\mathrm{OB} = a$ ব্যাসার্ধ-বিশিষ্ট একটি বৃত্ত কল্পনা করা যাক। ধরা যাক বৃত্তের পরিধির উপর একটি বিন্দু P সমবৃত্তীয় গতিতে ঘুরছে।

ঘূর্ণনের সুরু হচ্ছে A বিন্দু থেকে। তা হলে ঐ ঘূর্ণনশীল বিন্দু থেকে বৃত্তের যে-কোনও ব্যাস AB-র উপর লম্ব টানলে ঐ লম্বের পাদবিন্দু ঠিক একটি সরল দোলগতিতে AB ব্যাসের উপর আন্দোলিত হবে।

ধরা যাক, যে-কোনও t সময়ে ঘূর্ণনশীল বিন্দুর অবস্থান P। তা হলে AB ব্যাসের উপর PM লম্বের পাদবিন্দু M হবে সরল দোলগতি বিশিষ্ট কণাটির অবস্থান। এখানে $\angle POA = \omega t + \alpha$ কে বলা হয় দশা কোণ (Phase angle)।

চিত্র ২

সরল দোলগতির বৃত্তীয় উপস্থাপন।

সরল দোলগতিতে আন্দোলিত কোনও কণার কোনও সময়ে গতির অবস্থাকে বলা হয়, তার **দশা** (Phase)। ঘূর্ণনশীল বিন্দুটি দোলগতির সুরু থেকে যত পরিমাণ কোণ ঘুরেছে তাই হচ্ছে দশার পরিমাণ।

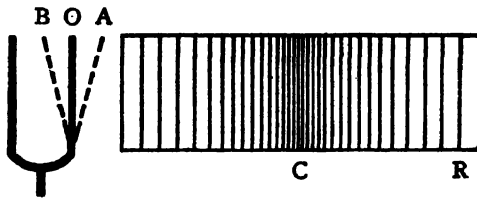
যদি ঘূর্ণনশীল বিন্দুটির P_0 অবস্থান থেকে সময় গণনা সুরু করা হয়, (যা এখানে কল্পনা করা হয়েছে) তা হলে $\angle P_0OA$ বা α-কে বলা হয় **আদি-দশা** বা **এপক** (Epoch)।

দেখা যাচ্ছে কণাটির সরণ $OM = x = a \cos (\omega t + \alpha)$

আবার যদি কণাটির মধ্যবিন্দু O-তে অবস্থান-মুহূর্ত থেকে সময় গণনা করা হয় এবং y-অক্ষের উপর CD রেখা বরাবর সরণ ঘটে, তা হলে তার সরণের সমীকরণ হবে :

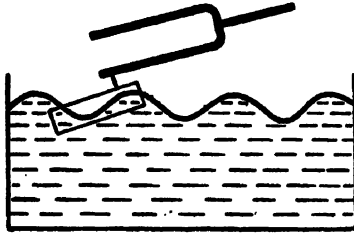
$$y = a \sin (\omega t + \alpha) \qquad \cdots \qquad \cdots \qquad \text{(ii)}$$

সরল দোলগতি ও তরঙ্গগতি : কোনও সরল দোলগতিই বিচ্ছিন্ন ও এককভাবে তরঙ্গ উৎপাদন করতে পারে না। তার জন্যে প্রয়োজন স্থিতিস্থাপক মাধ্যম যার মধ্যে বস্তুকণাগুলি ঘনসন্নিবিষ্টভাবে অবস্থান করে। ঐ রকম মাধ্যমে কোনও একটি বিন্দুতে সরল দোলগতি উৎপাদন করলে তা সেই স্থানে আবদ্ধ থাকে না, কণা থেকে কণান্তরে সঞ্চালিত হয়। এই গতির বৈশিষ্ট্য হচ্ছে এই যে, উৎসবিন্দু থেকে বিভিন্ন দূরত্বে অবস্থিত কণাগুলিও ঐ সরল দোলগতিতে আন্দোলিত হয়। এই রকম বৈশিষ্ট্যযুক্ত সরল দোলগতিকে সচল তরঙ্গগতি বলে। এই রকম তরঙ্গগতির একটি উদাহরণ হচ্ছে সুরশলাকার সাহায্যে বায়ুতে শব্দতরঙ্গের উৎপাদন। দ্বিতীয় একটি উদাহরণ হচ্ছে জলাশয়ের উপর যান্ত্রিক শক্তির দ্বারা উৎপাদিত তরঙ্গ। দ্বিতীয় উদাহরণটি অবশ্য একটু জটিল।

অনুদৈর্ঘ্য ও তির্যক তরঙ্গ (Longitudinal and Transverse waves) **:** সুরশলাকার সাহায্যে বায়ুতে প্রচাপন ও তনূকরণের (compression and rarefaction) ফলে যে বিক্ষোভ সৃষ্টি হয় তা সন্নিহিত স্তরের মাধ্যমে দূরস্থানেও ব্যাপ্ত হয়। এক্ষেত্রে সুরশলাকার কম্পন যে দিকে হয়, বায়ুতে প্রচাপন ও তনূকরণও সেই দিকেই ঘটে এবং ইহার

চিত্র ৩

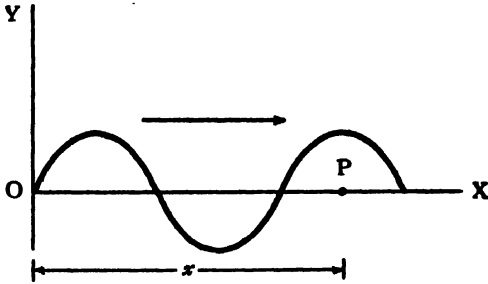
বায়ুতে সুরশলাকার সাহায্যে কম্পন।

সঞ্চালন স্তর থেকে স্তরে ঐ একই দিকে হয়। অর্থাৎ এক্ষেত্রে মধ্যস্থিত স্তরগুলির সরণ ও শব্দতরঙ্গের সঞ্চালনের দিক একই। এই রকম তরঙ্গকে অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ (Longitudinal waves) বলে। অপরপক্ষে যান্ত্রিক উপায়ে জলাধারে জলের উপর উৎপাদিত তরঙ্গের ক্ষেত্রে দেখা যায়, যেদিকে তরঙ্গ সঞ্চালিত হচ্ছে, জলের কণাগুলি তার সঙ্গে লম্বভাবে আন্দোলিত হচ্ছে।

এই ধরনের তরঙ্গ, যেখানে মাধ্যমের কণাগুলির আন্দোলন তরঙ্গ সঞ্চালনের দিকের সঙ্গে লম্বভাবে হয়, তাকে বলে তির্যকতরঙ্গ (transverse waves)।

চিত্র ৪

জলে তরঙ্গ উৎপাদন।

১'৪ সরল দোল-তরঙ্গের সমীকরণ (Simple harmonic wave equation) :

সরল দোলগতিই সরল দোল-তরঙ্গের কারণ। সুতরাং সরল দোলগতির সমীকরণ থেকেই সরল দোল-তরঙ্গের সমীকরণটি উপপাদন করা যায়।

চিত্র ৫

ধরা যাক, O বিন্দুতে একটি তরঙ্গের উৎস অবস্থিত আছে এবং উৎস থেকে X-অক্ষ বরাবর তরঙ্গটি এগিয়ে চলেছে। উৎসটি সরল দোলগতিতে কম্পন করছে। উৎসকে একটি দৃঢ় বস্তু (rigid body) মনে করতে হবে, যেমন কোনও সুরশলাকার একটি শলাকা। শলাকাটির যে-কোনও কণার কম্পনকে পূর্বে উল্লিখিত নিম্নোক্ত সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা যায় :

$y = a \sin \omega t$, আদিদশা α-কে শূন্য ধরে

এখন মনে করা যাক, P বিন্দু মাধ্যমের মধ্যে যে-কোনও একটি বিন্দু, যার মূল বিন্দু থেকে X-অক্ষ বরাবর দূরত্ব x। তরঙ্গটি যখন উৎস থেকে যাত্রা সুরু করেছে তখন থেকে সময়ের গণনা সুরু করা হ'ল। তা হলে উৎস থেকে P বিন্দু পর্যন্ত আসতে তরঙ্গের যে সময় লাগবে P বিন্দুতে অবস্থিত কণাটির দশা O বিন্দুর তুলনায় ঠিক ততখানি পশ্চাদ্‌বর্তী হবে। এই দশার পশ্চাদ্‌বর্তিতা যদি সময়ের হিসাবে τ হয় তাহলে P বিন্দুর সরণ হবে ঃ

$$y=a \sin \omega (t-\tau).$$

এখন তরঙ্গের বেগ v হলে তার x দূরত্ব যেতে যে সময় লাগবে তাই হচ্ছে τ, সুতরাং $\tau=\frac{x}{v}$

অতএব, $$y=a \sin \omega \left(t-\frac{x}{v}\right) \qquad \cdots \quad \text{(i)}$$

কিন্তু তরঙ্গের পর্যায়কাল T হলে, $\omega=\frac{2\pi}{T}$

$$\therefore \qquad y=a \sin \frac{2\pi}{T}\left(t-\frac{x}{v}\right) \qquad \cdots \quad \text{(ii)}$$

$$=a \sin 2\pi \left(\frac{t}{T}-\frac{x}{vT}\right)$$

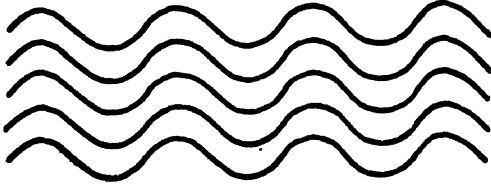
বা, $$y=a \sin 2\pi \left(\frac{t}{T}-\frac{x}{\lambda}\right) \qquad \cdots \quad \text{(iii)}$$

বা, $$y=a \sin \frac{2\pi}{\lambda}(vt-x) \qquad \cdots \quad \text{(iv)}$$

যখন, $\lambda=v\mathrm{T}=$ তরঙ্গদৈর্ঘ্য (wave length)।

উপরের (i) থেকে (iv) পর্যন্ত সমীকরণগুলিকে সরল দোল-তরঙ্গের সমীকরণ বলা যায়।

সরল দোল-তরঙ্গের যে-কোনও সমীকরণ লক্ষ্য করলে দেখা যাবে তার মধ্যে x ও t এই দুটি চলরাশি (variables) রয়েছে। তারা যথাক্রমে কোনও কণার অবস্থান এবং O থেকে আরম্ভ করে সময়ের নির্দেশক। কোনও একটি কণার উপর দৃষ্টি নিবদ্ধ রাখলে x-কে ধ্রুবক ধরতে হবে এবং t-এর

সহিত y-এর যে পরিবর্তন হবে তাই ঐ কণার বিভিন্ন সময়ের সরণ নির্দেশ করবে। আবার যদি t-কে ধ্রুবক কল্পনা করি, তাহলে x-এর পরিবর্তনের সঙ্গে বিভিন্ন অবস্থানের কণার সরণ ঐ সমীকরণ থেকে পাওয়া যাবে।

চিত্র ৬

তরঙ্গরূপের চিত্র।

কণাগুলির এই তাৎক্ষণিক অবস্থান যোগ করলে যে তলটি পাওয়া যায় তাকে **তরঙ্গরূপ** (Waveform) বলে।

১'৫ তরঙ্গগতির সাধারণ সমীকরণ (General equation of wave motion):

আমরা পূর্বে সহজভাবে তরঙ্গগতির সমীকরণ পেয়েছি ঃ

$$y=a\ \sin\frac{2\pi}{\lambda}(vt-x) \qquad \cdots \quad \text{(i)}$$

এখানে, কল্পনা করা হচ্ছে তরঙ্গটি X-অক্ষের সমান্তরালভাবে অগ্রসর হচ্ছে। এই সমীকরণটি দু'বার x-এর সাপেক্ষে অন্তরকলন (differentiate) করলে পাওয়া যায় ঃ

$$\frac{d^2y}{dx^2}=-\frac{4\pi^2}{\lambda^2}\cdot a\ \sin\frac{2\pi}{\lambda}(vt-x)$$

$$=-\frac{4\pi^2}{\lambda^2}\cdot y \qquad \cdots \quad \text{(ii)}$$

আবার সমীকরণ (i)-কে t-এর সাপেক্ষে দু'বার অন্তরকলন করলে পাওয়া যায় ঃ

$$\frac{d^2y}{dt^2}=-\frac{4\pi^2}{\lambda^2}\cdot v^2y \qquad \cdots \quad \text{(iii)}$$

সুতরাং (ii) এবং (iii) থেকে লেখা যায় ঃ

$$\frac{d^2y}{dt^2} = v^2 \cdot \frac{d^2y}{dx^2} \qquad \cdots \quad \text{(iv)}$$

এখন যদি কল্পনা করা যায় যে, ত্রিমাত্রিক দেশে কণাটির সরণ ξ, যা হচ্ছে x, y, z এবং t-এর উপর নির্ভরশীল, তা হলে ত্রিমাত্রিক দেশে প্রযোজ্য সমীকরণটি হবে ঃ

$$\frac{d^2\xi}{dt^2} = v^2 \left(\frac{\partial^2\xi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\xi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2\xi}{\partial z^2} \right) \qquad \cdots \quad \text{(v)}$$

এই শেষোক্ত সমীকরণটিকে তরঙ্গগতির সাধারণ সমীকরণ বলা হয়।

বিশেষ ক্ষেত্রে যখন সরণ ξ কেবল একটি অক্ষের উপর পরিবর্তনশীল হয়, তখন আমরা পূর্বোল্লিখিত (iv) সমীকরণের অনুরূপ এই সরল সমীকরণটি পাই ঃ

$$\frac{d^2\xi}{dt^2} = v^2 \frac{d^2\xi}{dx^2}$$

যার সাধারণ সমাধান হিসাবে আমরা পাই ঃ

$$\xi = f_1(x - vt) + f_2(x + vt).$$

যখন $f_1(x - vt)$ এবং $f_2(x + vt)$ যথাক্রমে X-অক্ষের পজিটিভ এবং নেগেটিভ দিকে অগ্রসরণশীল দুটি তরঙ্গকে বুঝায়। উপরিউক্ত $y = a \sin \frac{2\pi}{\lambda}(vt - x)$ সমীকরণটি এইরূপ সাধারণ সমাধানের একটি বিশেষ দৃষ্টান্ত মাত্র।

১·৬ সামতলিক ও গোলীয় তরঙ্গমুখ (Plane and spherical Wave front) ঃ

পূর্বে যে তরঙ্গগতির সাধারণ সমীকরণের উল্লেখ করা হয়েছে তার সমাধান হিসাবে লেখা যেতে পারে ঃ

$$\xi = \mathrm{A} \cos \omega \left(t - \frac{lx + my + nz}{v} \right) \qquad \cdots \quad \text{(i)}$$

এখন **তরঙ্গমুখ** বলতে বুঝায় এমন একটি তল, কোনও মুহূর্তে যে তলে

অবস্থিত কণাগুলির কম্পন একই দশাবিশিষ্ট হবে। সেই অর্থে উপরের এই (i)-চিহ্নিত সমীকরণটিকে একটি সামতলিক তরঙ্গমুখের সমীকরণ বলা যায়। কেননা l, m, n ডিরেকশান কোসাইন বিশিষ্ট একটি দিক বিবেচনা করলে এক সেকেণ্ড পরে ঐ দিকের সঙ্গে লম্বভাবে অবস্থিত একটি সমতলের সমীকরণ ঃ

$$lx+my+nz=v \qquad \cdots \quad \text{(ii)}$$

যখন v = তরঙ্গের আলোচ্য দিকে বেগ।

সুতরাং আলোচ্য মুহূর্তে এই সমতলের উপর অবস্থিত প্রত্যেকটি বিন্দুতে $lx+my+nz$-এর একই মান পাওয়া যাবে। অর্থাৎ ঐ বিন্দুগুলির কম্পনের দশা একই হবে। এই ক্ষেত্রে উৎস থেকে বহুদূরে অবস্থিত বিন্দুগুলিতে কম্পনের অবস্থা বিবেচনা করা হচ্ছে। প্রতিমুহূর্তে তরঙ্গমুখটি তরঙ্গ সঞ্চালনের সঙ্গে লম্ব দিকে অবস্থান করে।

কিন্তু যদি আমরা উৎসবিন্দুর খুব নিকটের অবস্থা বর্ণনা করতে চাই, তাহলে তরঙ্গগতির সাধারণ সমীকরণের সমাধানকে পূর্বের (i)-চিহ্নিত রূপে লেখা ঠিক হবে না। এক্ষেত্রে সমীকরণটির রূপ হবে ঃ

$$\frac{d^2\xi}{dt^2}+\frac{2}{r}\cdot\frac{d\xi}{dt}=\frac{1}{v^2}\frac{d^2\xi}{dr^2} \qquad \cdots \quad \text{(iii)}$$

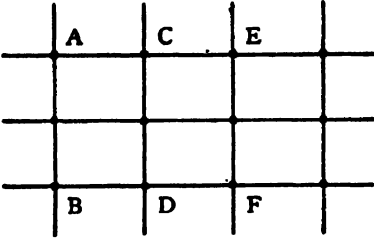
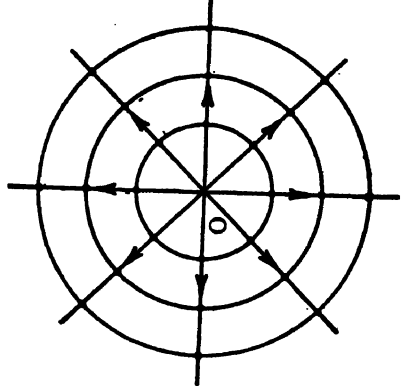
এখানে r হচ্ছে উৎস বিন্দু থেকে আলোচ্য বিন্দুটির দূরত্ব এবং v তরঙ্গের বেগ। এই সমীকরণটির সাধারণ সমাধান হবে,

$$\xi=\frac{1}{r}\left\{f_1\left(t-\frac{r}{v}\right)+f_2\left(t+\frac{r}{v}\right)\right\} \qquad \cdots \quad \text{(iv)}$$

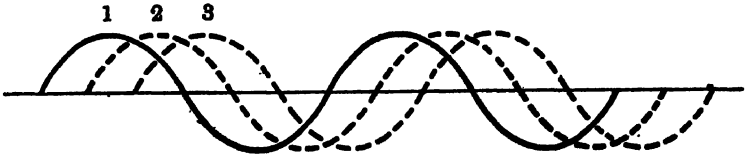
এটি উৎস থেকে ক্রম-প্রসারণশীল এবং উৎসের দিকে ক্রম-সঙ্কোচনশীল দুটি গোলীয় তরঙ্গের সমষ্টি। যদি আমরা দ্বিতীয়টি না ধরি তবে লেখা যায় ঃ

$$\xi=\frac{1}{r}\,f_1\left(t-\frac{r}{v}\right) \qquad \cdots \quad \text{(v)}$$

এটি উৎস থেকে চারদিকে সমানভাবে প্রসারণশীল একটি গোলীয় তরঙ্গকে নির্দেশ করে। এখানে এই তরঙ্গের বিস্তার (amplitude) হচ্ছে

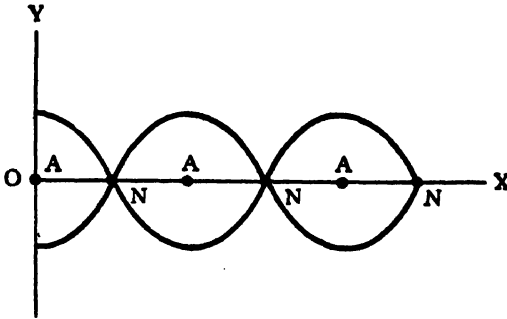
$\frac{1}{r}$-এর সহিত সমানুপাতী। সুতরাং তার শক্তির পরিমাণ দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতী। কোনও বিন্দুতে যে কোনও মুহূর্তের তরঙ্গমুখ ঐ বিন্দুগামী ব্যাসার্ধের সঙ্গে লম্ব স্পর্শকতল দ্বারা সূচিত হবে।

চিত্র ৭
সামতলিক তরঙ্গমুখের প্রস্থচ্ছেদ।
(AB, CD, EF প্রভৃতি)

চিত্র ৮
গোলীয় তরঙ্গমুখের প্রস্থচ্ছেদ।
(O-কেন্দ্রবিশিষ্ট সমকেন্দ্রিক গোলকগুলি তরঙ্গমুখের অবস্থান)

১.৭ সচল ও স্থাণু তরঙ্গ (Progressive and Stationary Waves):

কোনও মাধ্যমের মধ্যে যদি একটি তরঙ্গ বাধাহীনভাবে অগ্রসর হয় তখন তাকে সচল তরঙ্গ বলে। সচল তরঙ্গের প্রতিমুহূর্তের ফটোগ্রাফ নিলে দেখা যাবে তরঙ্গরূপটি (waveform) যেন মাধ্যমের মধ্যে এগিয়ে চলেছে।

চিত্র ৯
সচল তরঙ্গ।

চিত্রে একটি সচল তরঙ্গের প্রকৃতি দেখানোর চেষ্টা হয়েছে। 1, 2, 3 প্রভৃতি সংখ্যা দ্বারা চিহ্নিত তরঙ্গরূপগুলি হচ্ছে সামান্য সময়ের ব্যবধানে

পর পর কয়েকটি তরঙ্গরূপ। এক্ষেত্রে মাধ্যমের প্রত্যেকটি কণা একই ধরনের সরল দোলগতিতে আন্দোলিত হয় এবং প্রত্যেক কণারই কম্পনের বিস্তার এক হয় (অবশ্য যদি মাধ্যমের শোষণ এবং অগ্রসর হওয়ার জন্যে বিস্তারের ক্রমহ্রাসকে উপেক্ষা করা হয়, তাহলেই দ্বিতীয় বৈশিষ্ট্যটি প্রযোজ্য)। কিন্তু কণা থেকে কণায় দশার পরিবর্তন হ'তে থাকে।

কিন্তু কোনও তরঙ্গ যদি সীমাবদ্ধ মাধ্যমের মধ্যে অগ্রসর হবার সময়ে কোনও দ্বিতীয় মাধ্যমের বিভেদতলে প্রতিফলিত হয় তাহলে মূলতরঙ্গ ও বিপরীত দিকে ফিরে আসা প্রতিফলিত তরঙ্গ পরস্পর মিলিত হয়ে

চিত্র ১০
স্থাণু তরঙ্গ।

স্থাণু তরঙ্গের (Stationary wave) সৃষ্টি করে। স্থাণু তরঙ্গের নাম থেকে সমগ্র তরঙ্গটি যেন একস্থানে দাঁড়িয়ে আছে এই রকম মনে হ'তে পারে। প্রকৃতপক্ষে তরঙ্গরূপটি স্থির থাকে, কিন্তু স্তরে স্তরে কম্পনের ভিতর দিয়ে শক্তির সঞ্চালন ঠিকই ঘটে যায়। স্থাণু তরঙ্গের সরণলেখ চিত্রের মতো কতকগুলি লূপের (loops) সমষ্টি মনে হয়। প্রত্যেক লূপের দু প্রান্তে N চিহ্নিত স্থানের কণাগুলি সর্বদা স্থির থাকে। তাদের বলে নিস্পন্দবিন্দু বা নোড (Nodes)। প্রত্যেক লূপের ঠিক মধ্যবর্তী A চিহ্নিত বিন্দুগুলি সর্বাধিক বিস্তারে আন্দোলিত হয়। এদের বলে সুস্পন্দ বিন্দু বা অ্যান্টিনোড (antinodes)। কোনও সুস্পন্দ বিন্দু ও তার পার্শ্ববর্তী নিস্পন্দবিন্দুর মধ্যবর্তী বিন্দুগুলিও সরল দোলগতিতে আন্দোলিত হয়, কিন্তু তাদের বিস্তার নিস্পন্দ বিন্দু থেকে সুস্পন্দ বিন্দু পর্যন্ত ক্রমশঃ বৃদ্ধি পায়।

প্রত্যেকটি লুপ একটি অর্ধতরঙ্গের সমান দীর্ঘ হয়। সুতরাং একটি নোড থেকে পরবর্তী অ্যান্টিনোডের দূরত্ব সিকি তরঙ্গের সমান। কোনও নোড থেকে পার্শ্ববর্তী নোড বা অ্যান্টিনোড থেকে পার্শ্ববর্তী অ্যান্টিনোডের ব্যবধান ঠিক অর্ধতরঙ্গের সমান।

সচল তরঙ্গে কণা থেকে কণায় দশা পরিবর্তিত হয়, কিন্তু এক তরঙ্গদৈর্ঘ্য ব্যবধানে অবস্থিত দুটি কণা সমদশায় কম্পন করে। কিন্তু স্থাণু তরঙ্গের ক্ষেত্রে দুটি পাশাপাশি নোডের মধ্যবর্তী কণাগুলি একই দশায় কম্পন করে। আবার একটি লুপের অন্তর্গত কণাগুলি পার্শ্ববর্তী লুপের অন্তর্গত কণাগুলির তুলনায় বিপরীত দশায় থাকে অর্থাৎ তাদের দশার ব্যবধান হয় π রেডিয়ান বা 180°.

পাঠককে এই বিষয় সম্বন্ধে উপযুক্ত পুস্তক থেকে আরও সবিস্তারে পড়ার জন্যে পরামর্শ দেওয়া হচ্ছে।

১'৮ আলোক তরঙ্গের তির্যকত্ব :

ডাচ বিজ্ঞানী **হাইগেন্‌স্‌** (Huyghens) 1690 খৃষ্টাব্দে তরঙ্গবাদ সম্বন্ধে সুস্পষ্টভাবে তাঁর তত্ত্বের অবতারণা করেন। কিন্তু তিনি আলোক-তরঙ্গকে অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ (longitudinal waves) ধরে তাঁর তত্ত্বটি গড়ে তুলেছিলেন। ব্যতিচার (interference) ও ব্যবর্তন (diffraction) ঘটনা-দুটির ব্যাখ্যায় আলোকতরঙ্গকে অনুদৈর্ঘ্য ধরে নেওয়ায় কোনও অসুবিধার সম্মুখীন হতে হয় নি। কিন্তু সমবর্তনের (Polarisation) ব্যাখ্যা করতে গিয়ে এই ধারণা প্রচণ্ড বাধার সম্মুখীন হয়। শেষ পর্যন্ত 1816 খৃষ্টাব্দে **ফ্রেনেল** (Fresnel) সমবর্তিত আলোকের ব্যতিচারের ব্যাখ্যা করার ব্যাপারে আলোকতরঙ্গকে তির্যক ধ'রে নিয়ে সাফল্য অর্জন করেন। তারপর থেকে আলোকতরঙ্গের তির্যকত্বের সমর্থনে আরও অনেক প্রমাণ পাওয়া যায়। **বাইনার** (Wiener) উদ্ভাবিত একটি চমৎকার পরীক্ষায় আলোকতরঙ্গের তির্যকত্ব প্রমাণিত হয়। পরীক্ষাটির বর্ণনা পরে দেওয়া হয়েছে।

তরঙ্গতত্ত্বে দেখা যায় তরঙ্গের সঞ্চালন যে মাধ্যমের ভিতর দিয়ে হয়, তার স্থিতিস্থাপকতা (elasticity) ধর্ম থাকা প্রয়োজন। অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গের ক্ষেত্রে এই স্থিতিস্থাপকতা হবে অনুদৈর্ঘ্য (Longitudinal) স্থিতিস্থাপকতা এবং তির্যক তরঙ্গের ক্ষেত্রে হবে কৃন্তন (shearing) স্থিতিস্থাপকতা। সুতরাং তির্যক আলোকতরঙ্গের উপযুক্ত মাধ্যমেরও কৃন্তন স্থিতিস্থাপকতা থাকা প্রয়োজন। কিন্তু আলোকতরঙ্গ যে সমস্ত মাধ্যমের ভিতর দিয়ে যায় তাদের

ক্ষেত্রে এই জাতীয় স্থিতিস্থাপকতার অস্তিত্ব কল্পনা করা বেশ অসুবিধাজনক হ'য়ে পড়ে। যেমন আলোক শূন্যস্থানের ভিতর দিয়েও যায়। সুতরাং শূন্যস্থানকে একটা মাধ্যম কল্পনা করতে হবে যার স্থিতিস্থাপকতা আছে। কিন্তু এ ধরনের কল্পনা কষ্টকল্পনা ছাড়া কিছুই নয়।

এই ত্রুটি দূর হয় পরবর্তীকালে বৃটিশ বিজ্ঞানী **ক্লার্ক ম্যাক্সওয়েল** (Clark Maxwell) প্রবর্তিত তড়িৎ-চুম্বকীয় তত্ত্বের (electro-magnetic theory) সাহায্যে।

১'৯ আলোকের তড়িৎ-চুম্বকীয় তত্ত্ব ও ইথার-প্রকল্প (Electro-magnetic theory of light and ether hypothesis) :

ম্যাক্সওয়েলের তড়িৎ-চুম্বকীয় তত্ত্ব পদার্থের তড়িৎ ও চৌম্বক ধর্ম, পদার্থের উপর তড়িৎ ও চৌম্বক ক্ষেত্রের ক্রিয়া প্রভৃতি সম্বন্ধে বৈজ্ঞানিক পরীক্ষা দ্বারা লব্ধ ফলাফলের উপর প্রতিষ্ঠিত। এই তত্ত্ব অবতারণার পূর্বযুগে তড়িৎ ও চৌম্বক ক্রিয়াকে দুটি সম্পূর্ণ বিভিন্ন ক্রিয়া বলে গণ্য করা হ'ত। **গউস** (Gauss), **অ্যাম্পিয়ার** (Ampere) প্রভৃতি পদার্থবিজ্ঞানীরা পরীক্ষাদ্বারা দেখান যে, তড়িৎ-প্রবাহের সঙ্গে চৌম্বক ক্ষেত্রের সম্বন্ধ অতি নিকট। মাইকেল ফ্যারাডে দেখালেন, কোনও মাধ্যমের ভিতর দিয়ে ব্যাপ্ত চৌম্বকক্ষেত্রের পরিবর্তনের ফলে ঐ মাধ্যমে তড়িৎ বিভবের সৃষ্টি হয়। এইরকম বিভিন্ন প্রক্রিয়ার দ্বারা ক্রমশই প্রতীয়মান হ'ল যে, বৈদ্যুতিক এবং চৌম্বক প্রক্রিয়া অঙ্গাঙ্গীভাবে যুক্ত। ম্যাক্সওয়েল এই সমস্ত পরীক্ষার ফল কতকগুলি সূত্রের আকারে উল্লেখ করলেন। এই সূত্রগুলির সাহায্যে এই জাতীয় প্রক্রিয়াগুলির সম্পূর্ণ ও সুসঙ্গত তাত্ত্বিক আলোচনা সম্ভব হ'ল। যান্ত্রিক প্রক্রিয়ার ক্ষেত্রে তত্ত্বগত গণনার জন্য যেমন নিউটনের গতিসূত্রগুলি অপরিহার্য সেইরকম তড়িৎ ও চুম্বক সম্বন্ধীয় কোনও আলোচনার ক্ষেত্রে ম্যাক্সওয়েলের সূত্রগুলিও প্রযোজ্য। কোনও স্থানে তড়িৎ-ক্ষেত্র সময়ের সঙ্গে পরিবর্তিত হলে, তার সঙ্গে অনুরূপভাবে পরিবর্তনশীল একটি চৌম্বক ক্ষেত্রেরও সৃষ্টি হয়। আবার এই পরিবর্তনশীল তড়িৎ-ক্ষেত্র ও পরিবর্তনশীল চৌম্বক ক্ষেত্র অঙ্গাঙ্গীভাবে যুক্ত থাকে। ম্যাক্সওয়েলের দ্বারা উত্থাপিত সূত্রগুলির সার্থক তাত্ত্বিক প্রয়োগ দ্বারা দেখানো হয়েছে যে এই পরিবর্তন একটি স্থানের মধ্যে আবদ্ধ থাকে না। বরং উহা স্থানের বিভিন্ন অংশে সঞ্চালিত হয়। যদি এই তড়িৎ-ক্ষেত্র পর্যাবৃত্তভাবে (periodically) পরিবর্তিত হতে থাকে তবে তার সঙ্গে

সংশ্লিষ্ট চৌম্বক ক্ষেত্রও পর্যাবৃত্ত গতি লাভ করবে। যদি এই পর্যাবৃত্ত গতি সরল দোলগতি হয়, তবে সংশ্লিষ্ট তড়িৎ ও চৌম্বক ক্ষেত্র স্থানের মধ্যে তরঙ্গাকারে সঞ্চালিত হবে।

ম্যাক্সওয়েলের সমীকরণ প্রয়োগ ক'রে দেখানো যায়, যে কোনও সমসত্ত্ব মাধ্যমের মধ্যে যদি কোনও স্থানে সময়ের সঙ্গে পরিবর্তনশীল একটি তড়িৎ-ক্ষেত্র থাকে যাকে $\vec{E}(x, y, z, t)$ দ্বারা সূচিত করা যায়, তাহলে তার সঙ্গে যুক্ত চৌম্বক ক্ষেত্রটি $\vec{H}(x, y, z, t)$ দ্বারা সূচিত করা যাবে। মাধ্যমটি সমসত্ত্ব হওয়ার জন্য উহার তড়িৎ-বিভাজকতা (dielectric constant) K এবং চৌম্বক ভেদ্যতা (Magnetic permeability) μ সর্বত্র সম-মানবিশিষ্ট। তা ছাড়া স্থানটিতে মুক্ত তড়িৎ-আধান ও চৌম্বক মেরু না থাকায় সময় ও স্থানের সংগে পরিবর্তনশীল তড়িৎ ও চৌম্বক ক্ষেত্রদ্বয়কে নিম্নলিখিত সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা যায়ঃ

$$\frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = \frac{c^2}{\mu K}\left[\frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial z^2}\right]$$

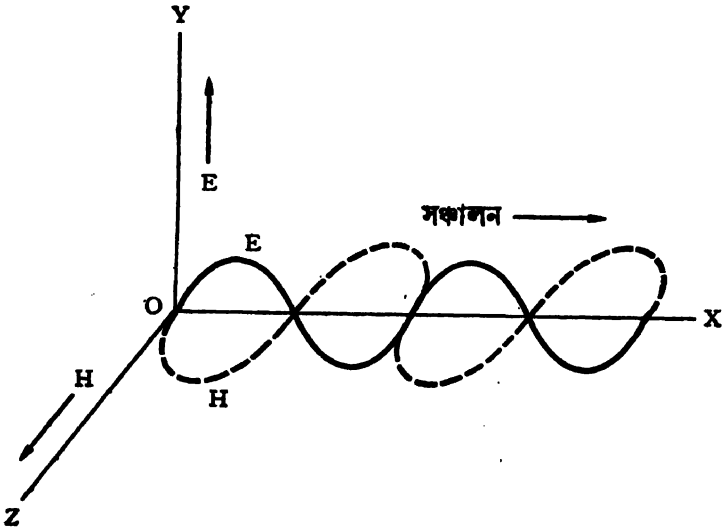
এবং
$$\frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial t^2} = \frac{c^2}{\mu K}\left[\frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial z^2}\right]$$

এক্ষেত্রে $\vec{E}(x, y, z, t)$ এবং $\vec{H}(x, y, z, t)$ যে কোনও স্থানে t সময়ে তড়িৎ-ক্ষেত্র ও চৌম্বকক্ষেত্রের দিক ও পরিমাণ নির্দেশ করে। সুতরাং $\vec{E}$ ও $\vec{H}$ উভয়েই ভেক্টর। c হচ্ছে তড়িৎ-চুম্বকীয় এবং তড়িৎ-স্থিতীয় (electro-magnetic and electro-static) এককে প্রকাশিত তড়িৎ আধানের পরিমাণের অনুপাত।

এই দুটি সমীকরণের সমাধান নানাভাবে করা যায়। এদের প্রত্যেকটি থেকেই দেখা যায় যে, উহারা সঞ্চালনশীল তরঙ্গের বৈশিষ্ট্য-যুক্ত। এই তরঙ্গের তড়িৎ ক্ষেত্র সময়ের সঙ্গে যে হারে পরিবর্তিত হচ্ছে কম্পাঙ্কের মান তার সমান। আর এই তরঙ্গের বেগ নির্দিষ্ট হয় $\frac{c}{\sqrt{\mu K}}$-এর মান দ্বারা।

এই তরঙ্গকে বলা হয় তড়িৎ-চৌম্বক তরঙ্গ। শূন্যস্থানে μ এবং K উভয়েরই মান 1, সুতরাং শূন্যস্থানে এই তরঙ্গের বেগ c-এর সমান।

উপরন্তু এই সমীকরণের সমাধানের বৈশিষ্ট্য হচ্ছে এই যে, তরঙ্গ যে দিকে অগ্রসর হবে, কম্পনশীল তাড়িৎ ও চৌম্বক ক্ষেত্র সর্বদা তার সঙ্গে সমকোণে অবস্থিত হবে। অর্থাৎ তরঙ্গগুলি প্রথম থেকেই তির্যক তরঙ্গ হবে। দ্বিতীয়ত যে কোনও স্থানে এবং যে কোনও সময়েই তাড়িৎ-ক্ষেত্র ($\vec{E}$ ভেক্টর) সর্বদা চৌম্বক ক্ষেত্র $\vec{H}$ ভেক্টরের সঙ্গে সমকোণে অবস্থিত হবে; তৃতীয়ত, উৎসের খুব নিকটে এই তরঙ্গগুলি গোলকের আকারে (spherically) সঞ্চালিত হবে, কিন্তু উৎস থেকে বহুদূরে এই গোলকতলগুলি কার্যত সমতল তরঙ্গের (Plane waves) আকারে সঞ্চালিত হবে।

এই আলোচনা থেকে আলোকতরঙ্গ এবং তড়িৎ-চৌম্বক তরঙ্গের সাদৃশ্য প্রতীয়মান হয়। যেমন, শূন্যস্থানে এই তড়িৎ-চৌম্বক তরঙ্গের বেগ পাওয়া

চিত্র ১১

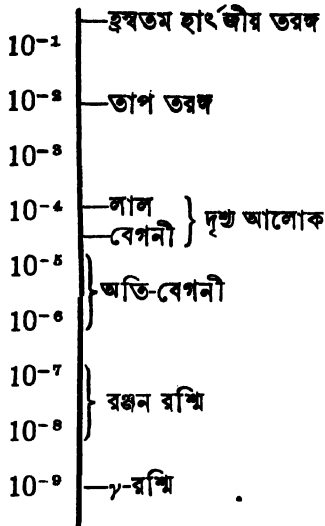
তড়িৎ-চুম্বকীয় তরঙ্গ; E-তড়িৎ-ক্ষেত্র এবং
H-চৌম্বক ক্ষেত্র

গেছে c যার মান হচ্ছে 3×10^{10} সেমি/সেকেণ্ড। এই বেগ পরীক্ষাদ্বারা নির্ণীত শূন্যস্থানে আলোক তরঙ্গের বেগের ঠিক সমান। দ্বিতীয়ত, শূন্যস্থান

ব্যতীত অন্য মাধ্যমে এই তরঙ্গের বেগ হবে $\frac{c}{\sqrt{\mu K}}$ এবং যেহেতু এক্ষেত্রে μ এবং K উভয়েই 1 থেকে বৃহত্তর মান বিশিষ্ট, সুতরাং এইরকম স্থানে তড়িৎ-চৌম্বক তরঙ্গের বেগ শূন্যস্থানের বেগের তুলনায় কম হবে। পূর্বে ফুকোর পরীক্ষার কথা বলা হয়েছে যার সাহায্যে দেখা গেছে শূন্যস্থানের তুলনায় কোনও স্বচ্ছ মাধ্যমে আলোকের বেগ কম।

এই সাদৃশ্য ছাড়াও ম্যাক্সওয়েলের তড়িৎ-চৌম্বক তরঙ্গের সঙ্গে আলোক তরঙ্গের সাদৃশ্য পরবর্তীকালে নানাভাবে সমর্থিত হয়। জার্মান বিজ্ঞানী **হার্ৎজ্** (Hertz) কৃত্রিম উপায়ে তড়িৎ-চৌম্বক তরঙ্গ উৎপাদন ক'রে তাদের প্রতিফলন, প্রতিসরণ, ব্যতিচার, ব্যবর্তন ও সমবর্তন সংক্রান্ত নানাবিধ পরীক্ষা সম্পন্ন করেন। ভারতবর্ষে আচার্য **জগদীশচন্দ্র** বসু এবং ইংলণ্ডে স্যার **অলিভার লজ** তড়িৎ-চৌম্বক তরঙ্গের নানারূপ ধর্মসম্বন্ধে বহু পরীক্ষাকার্য চালান। এই সমস্ত পরীক্ষার ফলে আলোক তরঙ্গের তড়িৎ-চৌম্বকীয় রূপ দৃঢ়ভাবে প্রতিষ্ঠিত হয়। **মাইকেল ফ্যারাডে** কর্তৃক আবিষ্কৃত **ফ্যারাডে ক্রিয়া** (Faraday effect) ও **কার** (Kerr) কর্তৃক আবিষ্কৃত **কার ক্রিয়া** (Kerr effect) আলোক তরঙ্গের তড়িৎ-চৌম্বকীয় রূপকেই সমর্থন করে। এই ক্রিয়া দুটি সম্বন্ধে পুস্তকের শেষে আলোচনা করা হয়েছে।

আলোকের এই তড়িৎ-চুম্বকীয় রূপ কেবল 'দৃশ্য-আলোকের' ক্ষেত্রেই প্রযোজ্য নয়। দৃশ্য-আলোক বলতে আমরা বুঝি সেই সমস্ত আলোক যারা আমাদের দর্শনেন্দ্রিয়ের অনুভূতি জন্মায় এবং যারা 'দৃশ্য-বর্ণালির' বেগনী থেকে লাল রঙ্-এর আলোক পর্যন্ত বিস্তৃত। এদের তরঙ্গদৈর্ঘ্য 4×10^{-5} সেমি থেকে প্রায় 8×10^{-5} সেমি পর্যন্ত বিস্তৃত। এই সীমানার উভয়দিকে অর্থাৎ এদের চেয়ে বেশী এবং কম তরঙ্গদৈর্ঘ্য-বিশিষ্ট তড়িৎ-চুম্বকীয় কম্পন আমাদের দর্শনেন্দ্রিয়কে উত্তেজিত করতে পারে না। দৃশ্য-আলোকের চেয়ে দীর্ঘতর তরঙ্গের দিকে রয়েছে অবলোহিত রশ্মি (Infrared rays), তাপ-তরঙ্গ, বেতার তরঙ্গ। অপরদিকে অর্থাৎ হ্রস্বতর তরঙ্গদৈর্ঘ্যের দিকে রয়েছে অতি বেগনী রশ্মি (Ultra violet rays), রঞ্জন রশ্মি (X-rays) গামা রশ্মি (γ-rays) প্রভৃতি। এরা সকলেই তড়িৎ-চুম্বকীয় তরঙ্গের শ্রেণীভুক্ত। এদের পার্থক্য শুধু কম্পাঙ্কের দ্বারা নির্ণীত হতে পারে।

হাইগেন্‌স্‌ ও ফ্রেনেল প্রবর্তিত তরঙ্গ-তত্ত্বের ক্ষেত্রে স্থিতিস্থাপক মাধ্যমের প্রয়োজনীয়তা ও সে সম্বন্ধে যে সমস্ত অসুবিধার সম্মুখীন হতে হয়েছিল তার উল্লেখ পূর্বে করা হয়েছে। ম্যাক্সওয়েল প্রবর্তিত তড়িৎ-চুম্বকীয় তত্ত্বের ক্ষেত্রে এইরকম কোনও বাস্তব মাধ্যমের আবশ্যকতা দেখা না গেলেও বিজ্ঞানীরা এই তড়িৎ-চুম্বকীয় তরঙ্গের সঞ্চালনের উপযোগী একটি মাধ্যমের কল্পনা করেন। এই মাধ্যম কি শূন্যস্থান, কি পদার্থ সবকিছুর মধ্যেই ব্যাপ্ত। এই মাধ্যমের নাম দেওয়া হ'ল **বিশ্ব ইথার** (World ether)। পদার্থ দ্বারা অধিকৃত ইথারকে বলা হ'ল 'রূপান্তরিত ইথার'। বাস্তব মাধ্যমে এই ইথারের কল্পনা সম্ভব হলেও শূন্যস্থানে এর অস্তিত্ব কল্পনা করা অসম্ভব। এই ইথারের অস্তিত্ব প্রমাণের উদ্দেশ্যে মাইকেলসন ও মর্লি খুব সূক্ষ্ম পরীক্ষার ব্যবস্থা করেন। কিন্তু তাঁদের পরীক্ষার ফল থেকে ইথারের অস্তিত্ব প্রমাণ করা কোনও রূপেই সম্ভব হ'ল না। বরং তার ফলশ্রুতি হিসাবে **আলবার্ট আইনষ্টাইন** যে **বিশেষ আপেক্ষিক তত্ত্বের** (Special Theory of relativity) অবতারণা করলেন, তাতে এইরকম কোনও ইথারেরই প্রয়োজন রইলো না।

চিত্র ১২
তড়িৎ-চৌম্বক তরঙ্গের ব্যাপকতা।

১'১০ সমসত্ত্ব ও অসমসত্ত্ব (Homogeneous and heterogeneous) মাধ্যমে তড়িৎ-চুম্বকীয় তরঙ্গের বৈশিষ্ট্য :

পূর্বেই দেখানো হয়েছে যে, সমসত্ত্ব মাধ্যমের যে কোনও বিন্দুতে যে কোনও মুহূর্তে তড়িৎ-ক্ষেত্র ($\vec{E}$ ভেক্টর) ও চৌম্বকক্ষেত্র ($\vec{H}$ ভেক্টর) নিম্নলিখিত সমীকরণ দুটি দ্বারা প্রকাশ করা যায় :

$$\frac{c^2}{\mu K}\left(\frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial z^2}\right)=\frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}$$

এবং
$$\frac{c^2}{\mu K}\left(\frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial z^2}\right)=\frac{\partial^2 \vec{H}}{}$$

এখন যেহেতু $\vec{E}$ এবং $\vec{H}$ উভয়েই ভেক্টর, সুতরাং তাদের প্রত্যেকেরই X, Y এবং Z অক্ষের দিকে একটি ক'রে উপাংশ থাকবে এবং তাদের প্রত্যেক উপাংশকে ঐ জাতীয় সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা যাবে। এই সমীকরণগুলির প্রত্যেকটি তরঙ্গগতির সাধারণ সমীকরণের মতো। সুতরাং প্রত্যেকটি সমীকরণও ঐ একই ভাবে প্রকাশ করা যাবে। যথা, $\vec{E}$ ও $\vec{H}$ এর X-উপাংশ :

$$E_x = A_x \cos w\left(t - \frac{lx+my+nz}{v}\right)$$

এবং
$$H_x = B_x \cos w\left(t - \frac{lx+my+nz}{v}\right)$$

অবশ্য যেহেতু $\vec{E}$ ও $\vec{H}$ ম্যাক্সওয়েলের সমীকরণ দ্বারা যুক্ত, সুতরাং A_x, B_x প্রভৃতি সহগগুলি পরস্পরের সঙ্গে সম্বন্ধযুক্ত। যেহেতু সমসত্ত্ব মাধ্যমটিতে মুক্ত তড়িৎ আধান বা মুক্ত চৌম্বক মেরু নাই, অতএব প্রতিক্ষেত্রেই :

$$\frac{\partial Ex}{\partial x} + \frac{\partial Ey}{\partial y} + \frac{\partial Ez}{\partial z} = 0$$

এবং
$$\frac{\partial Hx}{\partial x} + \frac{\partial Hy}{\delta y} + \frac{\partial Hz}{\partial z} = 0$$

এই সম্বন্ধ থেকে প্রমাণ করা যায় $\vec{E}$ এবং $\vec{H}$ ভেক্টরের প্রত্যেকটি l, m, n ডিরেকশন কোসাইন-বিশিষ্ট দিকের সঙ্গে লম্ব। ম্যাক্সওয়েলের সমীকরণের সাহায্যে ইহাও দেখানো সম্ভব যে $\vec{E}$ ও $\vec{H}$ ভেক্টর-দুটিও পরস্পরের সঙ্গে লম্ব।

এখন তড়িৎ-চুম্বকীয় তরঙ্গের শক্তির পরিমাণ একটি ভেক্টর রাশি $\vec{S}$ দ্বারা নির্দেশ করা হয়, যার মান নিম্নোক্ত সূত্র থেকে পাওয়া যাবে :

$$\vec{S} = \frac{c}{4\pi}(\vec{E} \times \vec{H}).$$

ভেক্টর গুণনের নিয়ম অনুযায়ী $\vec{S}$ ভেক্টরটি $\vec{E}$ এবং $\vec{H}$ উভয়ের সঙ্গেই সমকোণে অবস্থিত অর্থাৎ উহার দিক তরঙ্গ সঞ্চালনের দিকেই অবস্থিত। এই আলোচনা থেকে দেখা যাচ্ছে যে, সমসত্ত্ব মাধ্যমে তড়িৎ-চুম্বকীয় তরঙ্গে

শক্তি-সঞ্চালনের দিক ও তরঙ্গ-সঞ্চালনের দিক একই। যদি তরঙ্গের শক্তি-সঞ্চালনের দিককে রশ্মির দিক বলা হয়, তবে বলা যায়, তরঙ্গ ও রশ্মি এক্ষেত্রে একই দিকে প্রবাহিত।

অ-সমসত্ত্ব মধ্যমে তড়িৎ-চৌম্বক তরঙ্গের তত্ত্ব একটু জটিল। এক্ষেত্রে মাধ্যমের বিশেষত্ব অনুযায়ী তড়িৎ-বিভাজকতা K ও চৌম্বক ভেদ্যতা μ-এর মান বিভিন্ন হয়। স্বচ্ছ কেলাসের ক্ষেত্রে সাধারণত চৌম্বক ভেদ্যতা সবদিকে সমান ও তার মান 1 (এক)। সুতরাং এক্ষেত্রে তড়িৎ-চৌম্বক তরঙ্গের সঞ্চালন তড়িৎ-বিভাজকতার উপর নির্ভর করবে। যদিও এইরকম মাধ্যমে সামতলিক তরঙ্গমুখবিশিষ্ট তরঙ্গের সঞ্চালনে কোনও বাধা নেই, তথাপি ঐ মাধ্যমে শক্তি সঞ্চালনের দিক সাধারণত তরঙ্গাভিলম্বের দিকে হবে না। এই দুটি দিক পরস্পরের সঙ্গে কোনও কোণে আনত থাকবে। শক্তি-সঞ্চালনের বেগও তরঙ্গের বেগ থেকে বিভিন্ন হবে। এই সমস্ত প্রসঙ্গ যথাস্থানে আলোচিত হবে।

সারাংশ

আলোক শক্তির স্থানান্তর প্রক্রিয়া সম্বন্ধে কণাবাদ ও তরঙ্গবাদ এই দুটি পরস্পর বিরোধী মতবাদ প্রচলিত ছিল। কণাবাদ ব্যতিচার, ব্যবর্তন প্রভৃতি ঘটনার সন্তোষজনক ব্যাখ্যা দিতে না পারায় ক্রমশঃ তরঙ্গবাদ প্রাধান্য লাভ করে। সমবর্তনের ব্যাখ্যায় আলোকতরঙ্গকে তির্যক তরঙ্গ ধরা অপরিহার্য হ'য়ে পড়ে। তরঙ্গতত্ত্বের দ্বারা আবার কতকগুলি ঘটনার ব্যাখ্যা করা অসম্ভব হওয়ায় প্ল্যাঙ্কের ফোটনতত্ত্বের অবতারণা করা হয়। এ হচ্ছে নবরূপে কণাবাদ। বর্তমানে আলোকের দ্বৈতবাদ অনুসারে আলোকের কণা ও তরঙ্গ উভয় রূপকেই স্বীকার করা হয়।

কোনও মাধ্যমে সরল দোলগতি কম্পন হলে তাই থেকে সরল দোল-তরঙ্গের উৎপত্তি হয় এবং তা মাধ্যমের মধ্যে সঞ্চালিত হয়। তরঙ্গগতির সাধারণ সমীকরণ হচ্ছে :

$$\frac{d^2\xi}{dt^2}=v^2\left(\frac{\partial^2\xi}{\partial x^2}+\frac{\partial^2\xi}{\partial y^2}+\frac{\partial^2\xi}{\partial z^2}\right)$$

কিন্তু সরণ কেবল একটি অক্ষের (X-অক্ষের) দিকে হ'লে সমীকরণটি হবে :

$$\frac{\partial^2\xi}{\partial t^2}=v^2\frac{\partial^2\xi}{\partial x^2}.$$

কোনও মুহূর্তে মাধ্যমের কতকগুলি বিন্দু একই দশায় কম্পন করলে তারা যে তলে অবস্থান করে, তাকে তরঙ্গমুখ বলে। উৎসের নিকটে তরঙ্গমুখ গোলীয় এবং দূরে সামতলিক হয়।

কার্যতঃ অসীম মাধ্যমে বাধাহীনভাবে অগ্রসর তরঙ্গকে সচল তরঙ্গ বলে। কিন্তু সীমাবদ্ধ মাধ্যমে কোনও মূলতরঙ্গ ও তার প্রতিফলিত তরঙ্গ মিলে স্থাণু তরঙ্গ উৎপন্ন করে।

আঠারোশ সত্তরের দশকে ম্যাক্সওয়েল তড়িৎ-চুম্বকীয় তত্ত্বের অবতারণা করেন। দেখা যায়, আলোকতরঙ্গও এই তড়িৎ-চুম্বকীয় তরঙ্গের শ্রেণীতে পড়ে। এই জাতীয় তরঙ্গে একটি তড়িৎ ও একটি চৌম্বক ভেক্টর পরস্পর লম্ব দিকে কম্পন করে এবং তাদের উভয়ের সঙ্গে সমকোণে আলোকশক্তি সঞ্চালিত হয়। তড়িৎ-চৌম্বক তরঙ্গ তির্যকতরঙ্গ, সুতরাং এই তত্ত্বে আলোকতরঙ্গের তির্যকত্ব স্বীকৃত।

অনুশীলনী

১। তরঙ্গ কী? তির্যক ও অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গের পার্থক্য কী?

২। একটি তরঙ্গগতির সমীকরণ উপপাদন কর এবং তার ব্যাখ্যা দাও।

৩। স্থাণু ও সচল তরঙ্গের পার্থক্য আলোচনা কর।

৪। আলোকের স্বরূপ সম্বন্ধে কণাবাদ ও তরঙ্গবাদের বক্তব্য বিষয় আলোচনা কর।

৫। 'কণাবাদ বনাম তরঙ্গবাদ'—বিষয়টির উপর একটি সংক্ষিপ্ত নিবন্ধ রচনা কর।

৬। তড়িৎ-চুম্বকীয় তরঙ্গের সাধারণ সমীকরণের উল্লেখ ক'রে তার বৈশিষ্ট্যগুলির আলোচনা কর।

৭। টীকা লেখ:

(ক) তড়িৎ-চুম্বকীয় তত্ত্ব;

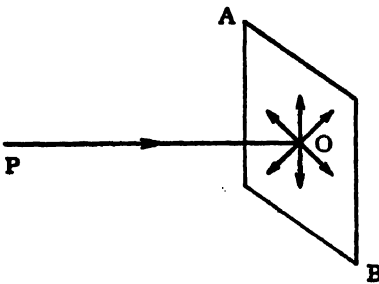
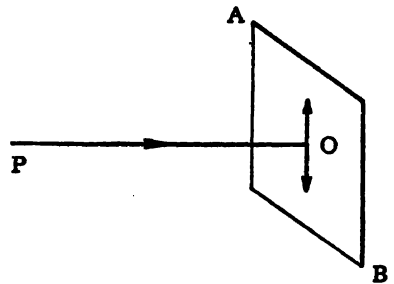
(খ) আলোক তরঙ্গের তির্যকত্ব;

(গ) ইথার প্রকল্প।

দ্বিতীয় অধ্যায়

সমতল সমবর্তন

২·১ সমবর্তিত ও অসমবর্তিত আলোক :

সমবর্তন কথাটির ব্যুৎপত্তিগত অর্থ সম (সমান) বর্তন (অবস্থান)। আলোক ভেক্টরের কম্পনের দিক সম্বন্ধে এই অর্থ প্রযোজ্য। অর্থাৎ কোনও আলোকে আলোক ভেক্টরের কম্পন যদি সর্বদা একদিকে হয় তাহলে সেই আলোককে বলা হবে সমবর্তিত আলোক। ইংরেজীতেও polarisation কথার অর্থ একমুখিতা। তাহলে সাধারণ বা অসমবর্তিত আলোকের নিশ্চয় বহুমুখিতা ধর্ম আছে এবং এই বহুমুখিতা হচ্ছে আলোক ভেক্টরের কম্পনের দিক সম্বন্ধে। তড়িৎ-চুম্বকীয় তত্ত্ব অনুসারে আমরা জানি আলোকরশ্মির দিকের সঙ্গে লম্বভাবে তড়িৎ ও চুম্বক দুটি ভেক্টরই স্পন্দন করে। এদের যে কোনও একটিকে আলোক-ভেক্টর ধরা যায়। সাধারণতঃ তড়িৎ-ভেক্টরকে আলোক-ভেক্টর ধরা হয়।

চিত্র ১৩
অসমবর্তিত কম্পন।

চিত্র ১৪
সমবর্তিত কম্পন।

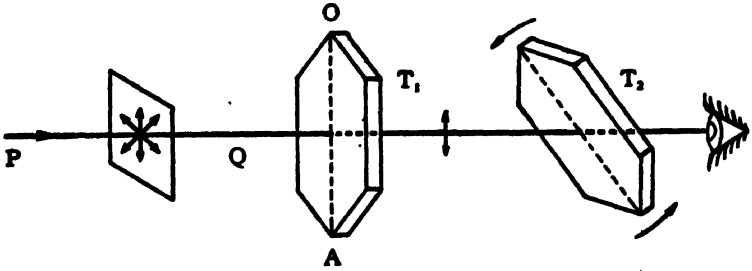
অসমবর্তিত আলোকের ক্ষেত্রে আলোক-ভেক্টর রশ্মির সঙ্গে লম্ব সমতলে যে কোনও দিকে কম্পন করতে পারে। চিত্র ১৩-তে এই কম্পনের ধরন দেখানো হয়েছে। PO একটি আলোকরশ্মি অর্থাৎ আলোকশক্তি

সঞ্চালনের পথ। এই পথে মাধ্যমের মধ্যে O একটি বিন্দু। এই বিন্দুতে আলোক-ভেক্টরের কম্পন কেমনভাবে হচ্ছে সেটাই এখানে বিবেচ্য। O বিন্দুতে PO রেখার সঙ্গে সমকোণে অবস্থিত AB তলটিকে কল্পনা করা হ'ল। O বিন্দুতে কম্পন এই AB তলের উপর যে কোনও দিকে হতে পারে। তীরচিহ্ন দিয়ে এই কম্পনের কয়েকটি সম্ভাব্য দিককে দেখানো হয়েছে। অসমবর্তিত আলোক-ভেক্টরের কম্পন এই AB সমতলে সীমাবদ্ধ থেকে দ্রুত দিক পরিবর্তন করছে। সাধারণ সমস্ত আলোকের উৎস থেকে নির্গত আলোকের ক্ষেত্রে কম্পনের দিক পরিবর্তন ঘটে দুটি কারণে: (i) সাধারণ আলোক উৎসের বিভিন্ন অংশ থেকে বিকিরিত আলোক-কম্পনের মধ্যে দশার কোনও সম্বন্ধ থাকে না এবং (ii) একই অংশ থেকে বিকিরিত আলোকের কম্পনের দিকও 10^{-8} সেকেণ্ডের মধ্যে পরিবর্তিত হয়। যে কোনও মুহূর্তে আলোক-ভেক্টরের কম্পন একটি নির্দিষ্ট দিকে হয়, তথাপি খুব ক্ষুদ্র পর্যবেক্ষণকালের মধ্যেও আলোক-ভেক্টর কোনও বিশেষ দিকে অবস্থান করে না।

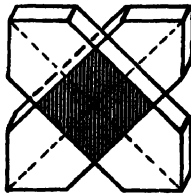
কিন্তু আলোক যখন সমবর্তিত হয় তখন তার কম্পন কেবল একটি মাত্র দিকে সীমাবদ্ধ থাকে। চিত্রে 14-তে এই সীমাবদ্ধ বা সমবর্তিত কম্পন দেখানো হয়েছে। আলোকরশ্মি ও কম্পনের দিক দ্বারা যে সমতল নির্দিষ্ট হয়, তাকে **কম্পনতল** (Plane of vibration) বলে। দেখা যাচ্ছে এই ধরনের সমবর্তনে আলোক-ভেক্টরের কম্পনতল সর্বদা নির্দিষ্ট থাকে। একে বলা হয়, **সমতল সমবর্তন** (Plane polarisation)। পরে অন্যান্য ধরনের সমবর্তনের যে আলোচনা হবে—যথা, উপবৃত্তীয় ও বৃত্তীয় সমবর্তন, তাদেরও মূল কারণ হ'চ্ছে, এই সমতল সমবর্তন।

২.২ টুরমালিন পরীক্ষা (Tourmaline experiment):

এই পরীক্ষার সাহায্যে সমতল সমবর্তন বিষয়ের আলোচনা আরম্ভ করা যেতে পারে। টুরমালিন হচ্ছে বিভিন্ন অক্সাইডের মিশ্রণে উৎপন্ন এক ধরনের স্বচ্ছ কিন্তু ঈষৎ বেগুনী আভাযুক্ত কেলাস। টুরমালিন কেলাসের স্বাভাবিক আকার চিত্র 15 ও 16-এর মতো। এর বৃহত্তম কর্ণকে (চিত্র 15-তে OA) বলা হয় কেলাস অক্ষ (crystallographic axis)। ধরা যাক, এই রকম একটি কেলাস T_1-এর উপর অসমবর্তিত আলোকের একটি রশ্মিগুচ্ছ PQ লম্বভাবে আপতিত হ'য়েছে। রশ্মিগুচ্ছটি T_1-এর ভিতর দিয়ে নির্গত

হওয়ার পরে রশ্মির দিকে চোখ রেখে দেখলে কোন পরিবর্তন লক্ষ্য করা যাবে না (অবশ্য সামান্য বেগুনী রঙে রশ্মিগুচ্ছটি রঞ্জিত হওয়া ছাড়া)। কিন্তু এখন যদি T_1 কেলাস থেকে নির্গত রশ্মিগুচ্ছটির পথে দ্বিতীয় একটি

চিত্র ১৫

টুরম্যালিনের পরীক্ষা।

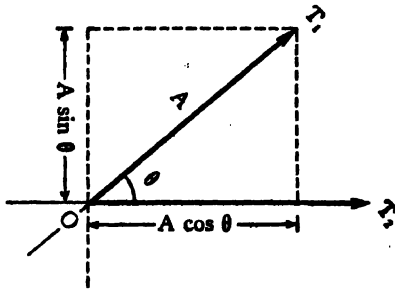
কেলাস T_2-কে রাখা যায় এবং রশ্মিকে অক্ষ ক'রে ধীরে ধীরে T_2-কে ঘোরানো যায়, তাহলে বিশেষ পরিবর্তন লক্ষ্য করা যাবে। দেখা যাবে T_2-র ঘূর্ণনের বিভিন্ন অবস্থানে T_2 থেকে নির্গত রশ্মির উজ্জ্বলতার হ্রাস-বৃদ্ধি

চিত্র ১৬

বিষম অবস্থান।

হচ্ছে। যখন T_1 এবং T_2-র কেলাস অক্ষদ্বয় সমান্তরাল, তখন T_2 থেকে নির্গত রশ্মির উজ্জ্বলতা সর্বাধিক। কিন্তু যখন উভয় কেলাসের অক্ষদ্বয় পরস্পর লম্ব, তখন T_2 থেকে কোনও আলোকই নির্গত হবে না। উভয় কেলাসের অক্ষদ্বয় যদি অন্য কোনও কোণে আনত হয়, তাহলে T_2 থেকে কিছু আলোক নির্গত হবে। T_1 ও T_2-র অক্ষদ্বয়ের মধ্যে সূক্ষ্ম

কোণের পরিমাণ যত বাড়বে নির্গত রশ্মির তীব্রতাও তত হ্রাস পাবে এবং পূর্বেই বলা হয়েছে অক্ষদ্বয় সমকোণে অবস্থিত হলে কোন আলোকই নির্গত হবে না। এই অবস্থা চিত্র 16-তে দেখানো হয়েছে। দুটি কেলাসের অক্ষ এইরকম পরস্পর সমকোণে অবস্থিত হলে যখন কোনও আলোক তাদের সমন্বয়ের ভিতর দিয়ে নির্গত হতে পারে না তখন তাকে বলা হয় উভয় কেলাসের **বিষম বা বিপ্রতীপ** (Crossed) অবস্থান। টুরমালিনের এই পরীক্ষা থেকে কি অনুমান করা যায়? অনুমানটি নিশ্চয় এই যে টুরমালিন কেলাস আলোকতরঙ্গের মাত্র একটি কোনও নির্দিষ্ট দিকের কম্পনকে তার ভিতর দিয়ে সঞ্চালিত হতে দেয় এবং সেই দিকটি এই কেলাসের গঠনের সঙ্গে কোনও ভাবে সম্পর্কিত। কাজ চালানোর জন্যে আপাতত ধরা যাক, এই বিশেষ দিকটি হচ্ছে টুরমালিনের কেলাস অক্ষের সঙ্গে সমান্তরাল দিক। তা হলে প্রথম টুরমালিনের ভিতর দিয়ে নির্গত হবার পরে PQ রশ্মিটির আলোকের কি পরিবর্তন হচ্ছে? প্রথম টুরমালিনে প্রবেশের পূর্বে PQ ছিল অসমবর্তিত আলোকের রশ্মিগুচ্ছ। সুতরাং তার কম্পন রশ্মির সঙ্গে সমকোণে যে-কোন দিকে হচ্ছিল। অর্থাৎ কম্পনের দিক সম্বন্ধে ছিল সম্পূর্ণ স্বাধীনতা। কিন্তু প্রথম টুরমালিনে প্রবেশ করার সঙ্গে সঙ্গেই তার সেই স্বাধীনতা লুপ্ত হ'ল এবং কম্পন (আমাদের কল্পনা অনুসারে) কেবল কেলাস অক্ষ OA-র সঙ্গে সমান্তরাল দিকেই হতে থাকল। প্রথম টুরমালিন থেকে নির্গত আলোকও এই বৈশিষ্ট্য যুক্ত হ'ল অর্থাৎ তার কম্পন কেবল একই দিকে হচ্ছে। একেই আমরা বলেছি (সমতল) সমবর্তিত আলোক। সুতরাং প্রথম টুরমালিনটি অসমবর্তিত আলোককে সমবর্তিত আলোকে পরিণত ক'রল। এইজন্য প্রথম টুরমালিনটিকে বলা হয় **সমবর্তক** (Polariser)।

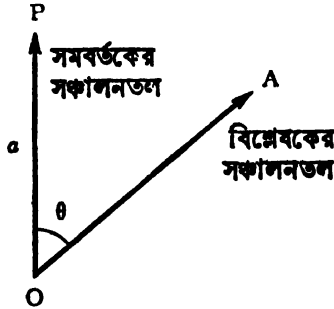
কিন্তু কোনও আলোক সমবর্তিত, কি অসমবর্তিত, অথবা সমবর্তিত হলে তার কম্পনের নির্বাচিত দিক কোনটি তা মানবচক্ষু স্থির করতে পারে না। এ জন্যে চাই দ্বিতীয় একটি সমবর্তকের সাহায্য। আলোচ্য পরীক্ষায় দ্বিতীয় টুরমালিনটি এই কাজ করছে। দ্বিতীয় কেলাসটি প্রথম কেলাস থেকে নির্গত রশ্মির পথে এমনভাবে ধরা হয় যে তার কেলাস-অক্ষ রশ্মির সঙ্গে সমকোণে থাকে। এখন দ্বিতীয় কেলাসের অক্ষ প্রথম কেলাসের অক্ষের তুলনায় কোন্ অবস্থানে (অর্থৎ কত ডিগ্রি কোণে আনত) আছে তার উপর নির্ভর করবে দ্বিতীয় কেলাস থেকে কি পরিমাণ আলোকরশ্মি নির্গত

হবে। ধরা যাক, প্রথম ও দ্বিতীয় কেলাসের অক্ষদ্বয় যথাক্রমে OT_1 এবং OT_2 অবস্থানে আছে। তাহ'লে প্রথম কেলাস থেকে নির্গত সমবর্তিত আলোকের কম্পন হচ্ছে (আমাদের কল্পনা অনুযায়ী) OT_1 এর সমান্তরাল। এই কম্পন যখন দ্বিতীয় কেলাসে প্রবেশ করতে চাইবে, তখন দ্বিতীয় কেলাস তার অক্ষ OT_2-র সঙ্গে সমান্তরাল বিশ্লেষিতাংশকেই তার ভিতর দিয়ে সঞ্চালিত হতে দেবে। এখন উভয় অক্ষের মধ্যে আনতি কোণ যদি θ হয়, তবে প্রথম কেলাস দ্বারা সমবর্তিত কম্পনের $\cos\theta$ উপাংশ (component) দ্বিতীয় কেলাস দ্বারা সঞ্চালিত হবে। যদি সমবর্তিত আলোক-কম্পনের বিস্তার (amplitude) A হয় তাহলে $A\cos\theta$ হবে দ্বিতীয় কেলাস থেকে নির্গত আলোক-কম্পনের বিস্তার। এইরকম পরীক্ষায় দ্বিতীয় কেলাস সমবর্তিত আলোককে বিশ্লেষণ করে, তাই তাকে বলা হয় **বিশ্লেষক** (Analyser)। কোন কেলাসের ভিতর দিয়ে নির্গত সমবর্তিত আলোকের কম্পনের দিক ও রশ্মির দিকের ভিতর দিয়ে যে সমতল অবস্থিত হয়, তাকে বলা হয় **সঞ্চালন তল** (Transmission plane)।

চিত্র ১৭

আমরা জানি θ যখন 0° থেকে 90° পরিবর্তিত হয়, $\cos\theta$ তখন 1 থেকে 0 পর্যন্ত পরিবর্তিত হয়। সুতরাং θ যখন 0 অর্থাৎ অক্ষদ্বয় সমান্তরাল তখন প্রথম কেলাস থেকে নির্গত সম্পূর্ণ আলোক দ্বিতীয় কেলাস দ্বারা সঞ্চালিত হবে। আবার θ যখন 90° অর্থাৎ দুটি কেলাস পরস্পর বিষম অবস্থানে, তখন T_2 দ্বারা কোন আলোক সঞ্চালিত হবে না।

ম্যালাসের সূত্র (Malus' Law): পূর্বে আলোচিত পরীক্ষা থেকে যে তথ্য পাওয়া যায় তা লুই ম্যালাস (Louis Malus) 1809 খৃষ্টাব্দে সূত্রের আকারে লিপিবদ্ধ করেন। এই সূত্র অনুসারে বিশ্লেষকের সঞ্চালন তল যদি সমবর্তকের সঞ্চালন তলের সঙ্গে θ কোণে আনত হয়, তাহ'লে বিশ্লেষক থেকে নির্গত কম্পনের বিস্তার হবে $a\cos\theta$, যখন a হচ্ছে সমবর্তিত কম্পনের বিস্তার। কিন্তু আলোক বা তরঙ্গবাহিত কোন শক্তির তীব্রতা (intensity) বিস্তারের বর্গের সমানুপাতী হয়। এখন

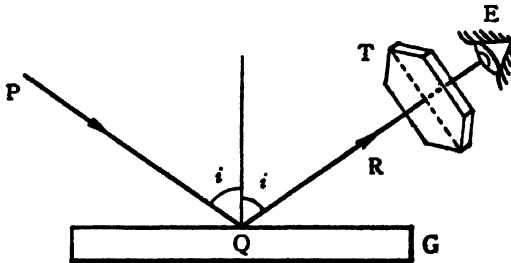
যদি I_0 এবং I^θ যথাক্রমে বিশ্লেষকের উপর আপতিত এবং বিশ্লেষক থেকে নির্গত আলোকের তীব্রতা হয়, তাহলে, $I_0 \propto a^2$ এবং $I_\theta \propto a^2 \cos^2\theta$ হবে এবং $\frac{I_\theta}{I_0} = \frac{a^2 \cos^2\theta}{a^2} = \cos^2\theta$

$$\text{অর্থাৎ,} \quad I_\theta = I_0 \cos^2\theta \quad \cdots \quad \cdots \text{(i)}$$

চিত্র ১৮

এই সূত্রকে ভাষায় নিম্নলিখিতভাবে প্রকাশ করা যায় :

বিশ্লেষক কর্তৃক সঞ্চালিত আলোকের তীব্রতা বিশ্লেষক ও সমবর্তকের সঞ্চালন তল-দুটির অন্তর্বর্তী কোণের কোসাইনের বর্গের সমানুপাতী হয়।

২.৩ প্রতিফলনের সাহায্যে (Polarisation by reflection) :

1808 খৃষ্টাব্দে ম্যালাস লক্ষ্য করেন আলোক প্রতিফলিত হলেও

চিত্র ১৯

সমবর্তিত হয়। ধরা যাক, একটি কাচের প্লেট G-এর উপর একটি রশ্মিগুচ্ছ PQ-কে যে কোনও কোণে আপতিত করা হ'ল। প্রতিফলিত রশ্মি QR-কে একটি টুরমালিন-বিশ্লেষক T-র সাহায্যে পরীক্ষা ক'রে দেখা যেতে পারে ঐ প্রতিফলিত আলোকের মধ্যে সমবর্তিতা ধর্ম উৎপন্ন হ'য়েছে কি না। টুরমালিনের কেলাসের অক্ষকে প্রতিফলিত রশ্মির সঙ্গে সমকোণে রেখে রশ্মিকে অক্ষ ক'রে টুরমালিনটিকে ঘোরাতে হবে। E অবস্থানে চোখ রেখে দর্শক টুরমালিনের ভিতর দিয়ে নির্গত আলোক দেখবেন। দেখা যাবে টুরমালিনটি ঘোরানোর সঙ্গে সঙ্গে নির্গত আলোকের ঔজ্জ্বল্যের হ্রাস-বৃদ্ধি হচ্ছে। টুরমালিনের সঞ্চালন তল যখন কাচের প্লেটের প্রতিফলন তলের সঙ্গে সমান্তরাল, তখন নির্গত রশ্মি গুচ্ছের তীব্রতা ন্যূনতম। চিত্রে এই অবস্থানটি দেখানো হয়েছে। পূর্বে বলা হয়েছে টুরমালিনের কেলাস অক্ষ এবং আপতিত রশ্মির দ্বারা নির্ধারিত তলই হচ্ছে টুরমালিনের সঞ্চালনতল। কিন্তু টুরমালিনের সঞ্চালনতল যদি কাচের প্লেটের প্রতিফলন তলের সঙ্গে সমকোণে অবস্থিত হয়, তাহলে নির্গত রশ্মিগুচ্ছের তীব্রতা চরম বা সর্বাধিক হবে।

এখন কাচফলকের আপতন তল ও টুরমালিনের সঞ্চালন তলকে সমান্তরাল রেখে কাচের উপর আপতন কোণ i-কে পরিবর্তন করা যেতে পারে। সঙ্গে সঙ্গে অবশ্য টুরমালিনটি প্রয়োজন মতো ঘুরিয়ে তার কেলাস অক্ষকে সর্বদা প্রতিফলিত রশ্মির সঙ্গে সমকোণে রাখতে হবে। আমরা আগেই দেখেছি কাচের আপতন তল এবং টুরমালিনের সঞ্চালন তল সমান্তরাল থাকলে টুরমালিন থেকে নির্গত আলোকের তীব্রতা ন্যূনতম হয়। এখন আপতন কোণ i-এর পরিবর্তনের সঙ্গে আবার দেখা যাবে ঐ ন্যূনতম তীব্রতারও হ্রাসবৃদ্ধি হচ্ছে। একটি নির্দিষ্ট আপতন কোণের ক্ষেত্রে এই তীব্রতা আবার 'ন্যূনতমের ন্যূনতম' হবে। এমন কি উপযুক্ত অনুকূল অবস্থায় কোনও আলোকই টুরমালিনের ভিতর দিয়ে নির্গত হবে না।

এই পরীক্ষার ব্যাখ্যা নিম্নলিখিতভাবে করা যায়। কাচফলকে প্রতিফলনের ফলে আলোকের সমবর্তন হয়। কিন্তু যে কোনও কোণে আপতিত রশ্মির ক্ষেত্রে এই সমবর্তন আংশিক হয়। পূর্বে আলোচিত প্রথম পরীক্ষায় আলোক যে কোনও কোণে আপতিত হয়েছিল। সুতরাং প্রতিফলিত আলোকের কিছু অংশ মাত্র সমবর্তিত হয়েছিল, অর্থাৎ কিছু অংশের কম্পন নির্দিষ্ট দিকে সীমাবদ্ধ ছিল। এই কম্পনের দিকের সঙ্গে

যখন টুরমালিন বিশ্লেষকের সঞ্চালন তল সমকোণে অবস্থিত হ'ল, তখন সমগ্র আলোকের সমবর্তিত অংশ বিশ্লেষকে বাধা পেল, কিন্তু অসমবর্তিত অংশ সঞ্চালিত হতে কোনও বাধা হ'ল না। সুতরাং নির্গত আলোকের তীব্রতা ন্যূনতম হ'ল, একেবারে বিলুপ্ত হ'ল না। কিন্তু আপতন কোণ i-এর পরিবর্তন ক'রে যখন একটা নির্দিষ্ট মানে নিয়ে আসা হ'ল, তখন বিশ্লেষকের ন্যূনতম অবস্থানে কোনও আলোকই নির্গত হ'ল না। সুতরাং বলা যায়, এই নির্দিষ্ট আপতন কোণে আলোক আপতিত হলে প্রতিফলিত আলোক সম্পূর্ণ সমবর্তিত হবে। বায়ু বা প্রকৃতপক্ষে শূন্যস্থান থেকে প্রতিফলক মাধ্যমের উপর এই নির্দিষ্ট আপতন কোণকে বলা হয় **সমবর্তক কোণ** (Polarising angle) যাকে আমরা i_p দ্বারা সূচিত করতে পারি। সুতরাং সমবর্তক কোণের সংজ্ঞা নিম্নলিখিতভাবে দেওয়া যায়ঃ

বায়ু বা প্রকৃতপক্ষে শূন্যস্থান থেকে কোনও মাধ্যমের উপর যে নির্দিষ্ট কোণে আলোকরশ্মি আপতিত হলে প্রতিফলিত রশ্মিগুচ্ছ সম্পূর্ণ সমবর্তিত আলোকে পরিণত হয়, সেই আপতন কোণকে আলোচ্য মাধ্যমের সমবর্তক কোণ বলে।

দেখা গেছে এই সমবর্তক কোণের মান প্রতিফলক মাধ্যমের উপর নির্ভর করে। বিভিন্ন পরীক্ষা দ্বারা সংগৃহীত তথ্য থেকে স্যার ডেভিড ব্রুস্টার (Sir David Brewster) মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্কের সঙ্গে সমবর্তক কোণের সম্বন্ধ আবিষ্কার করেন। তাঁর আবিষ্কৃত নিয়মটি নিম্নলিখিতরূপঃ

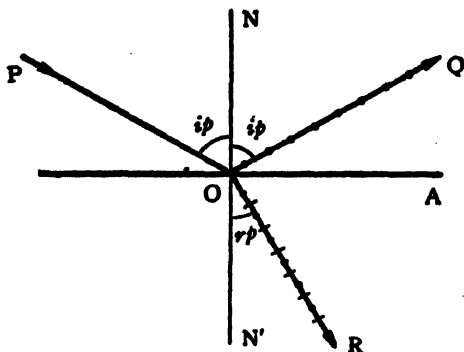
ব্রুস্টারের নিয়ম (Brewster's Law): কোনও প্রতিফলক মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক ঐ মাধ্যমের সমবর্তক কোণের ট্যান্‌জেন্টের সমান। প্রতীকের সাহায্যে প্রকাশ করলে সূত্রটি দাঁড়ায়ঃ

$$\mu = \tan i_p$$

যখন i_p = প্রতিফলক মাধ্যমের সমবর্তক কোণ এবং μ = ঐ মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক।

ব্রুস্টারের নিয়ম প্রয়োগ ক'রে প্রতিফলন দ্বারা সমবর্তিত আলোকের কম্পনের দিক সম্বন্ধে একটা অনুমান করা যেতে পারে।

ধরা যাক, কোনও PO আলোকের রশ্মি μ প্রতিসরাঙ্কবিশিষ্ট একটি মাধ্যমের উপর বায়ু থেকে i_p কোণে আপতিত হ'ল, যখন i_p আলোচ্য

মাধ্যমের সমবর্তক কোণ। তাহলে প্রতিফলনের নিয়ম অনুসারে প্রতিফলিত রশ্মি OQ অভিলম্বের সঙ্গে i_p কোণে প্রতিফলিত হবে। ধরা যাক, প্রতিসৃত রশ্মি OR-এর প্রতিসরণ কোণ r_p.

চিত্র ২০
ব্রুস্টারের নিয়ম প্রয়োগ।

এখন ব্রুস্টারের নিয়ম অনুসারে, কোনও মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক

$$\mu = \tan i_p = \frac{\sin i_p}{\cos i_p} \qquad \cdots \qquad (i)$$

আবার স্নেলের সূত্র (Snell's Law) অনুসারে,

$$\mu = \frac{\sin i_p}{\sin r_p} \qquad \cdots \qquad (ii)$$

সুতরাং (i) ও (ii) থেকে পাওয়া যায়ঃ

$$\cos i_p = \sin r_p$$

অর্থাৎ,
$$i_p + r_p = \frac{\pi}{2}$$

এই সূত্রটি তত্ত্বগতভাবে ২'৫ অনুচ্ছেদে নির্ণীত হয়েছে।

অতএব দেখা যাচ্ছে, সমবর্তক কোণে আপতিত রশ্মির ক্ষেত্রে প্রতিফলিত রশ্মি OQ এবং প্রতিসৃত রশ্মি OR-এর অন্তর্ভূত $\angle QOR$ কোণটি সমকোণ। এখন আলোকের কম্পন তির্যক অর্থাৎ রশ্মির সঙ্গে সর্বদা সমকোণে হয়, এ কথা মনে রাখলে OQ এবং OR রশ্মি-দুটির আলোক-

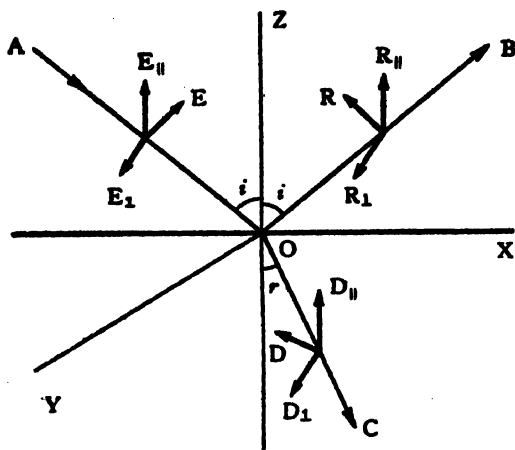
ভেক্টরের কম্পন সম্বন্ধে অনুমান করা সম্ভব হবে। চিত্রে আপতন তলের সঙ্গে সমান্তরাল কম্পনগুলিকে ড্যাশ-চিহ্ন (dashes) দ্বারা এবং আপতন তলের সঙ্গে লম্ব কম্পনগুলিকে ফুটকি-চিহ্ন (dots) দ্বারা সূচিত করা হয়েছে। উভয় কম্পনই অবশ্য রশ্মির সঙ্গে সর্বদা সমকোণে হবে। দেখা যাচ্ছে আপতন তলের সমান্তরাল কম্পনগুলি OR-এর সঙ্গে লম্ব, সুতরাং OQ-র সঙ্গে সমান্তরাল। তাহ'লে OQ বা প্রতিফলিত রশ্মিগুচ্ছে সমান্তরাল কম্পনগুলি থাকতে পারে না। কারণ সেই কম্পনগুলিকে OQ-এর সঙ্গে সমান্তরাল অর্থাৎ অনুদৈর্ঘ্য কম্পন হতে হবে। কিন্তু আলোকের সমবর্তন ঘটনাটি অনুদৈর্ঘ্য কম্পনের সাহায্যে ব্যাখ্যা করার সমস্ত প্রচেষ্টা ব্যর্থ হয়েছে। অতএব প্রতিফলিত রশ্মিতে কেবল আপতন তলের সঙ্গে লম্ব কম্পনগুলিই থাকতে পারে। এখন কোনও আলোকের কম্পন যদি কেবল একটি নির্বাচিত দিকেই হয়, সেই আলোক সমবর্তিত আলোক হবে। এই কারণে সমবর্তক কোণে আপতিত রশ্মিগুচ্ছের ক্ষেত্রে প্রতিফলিত রশ্মিগুচ্ছের আলোক শতকরা একশত ভাগই সমবর্তিত হয়।

২.৪ প্রতিসরণের দ্বারা সমবর্তন (Polarisation by refraction) :

পূর্বের অনুচ্ছেদে দেখা গেছে সমবর্তক কোণে আলোকের আপতন হ'লে প্রতিফলিত রশ্মিতে কেবল আপতন তলের সঙ্গে লম্ব কম্পনগুলিই থাকতে পারে। কিন্তু প্রতিসৃত আলোকে লম্ব ও সমান্তরাল উভয় প্রকার কম্পন থাকায় কোনও বাধা নেই। এখন প্রতিসৃত রশ্মিতে কি এই দুটি নির্বাচিত দিকেই কম্পন থাকবে না অন্য যে কোনও দিকে কম্পনের স্বাধীনতা যা অসমবর্তিত আলোকের ধর্ম তা এই প্রতিসৃত রশ্মিতেও বজায় থাকবে? পরীক্ষার সাহায্যে দেখা গেছে প্রতিসৃত রশ্মির মধ্যে কম্পন হয় কেবল মাত্র ঐ দুটি নির্বাচিত দিকেই, অর্থাৎ আপতন তলের সমান্তরাল ও লম্ব দিকে।

তাহ'লে এইরকম অনুমান করা স্বাভাবিক যে আলোক রশ্মি এক মাধ্যম থেকে অন্য মাধ্যমের উপর পড়লে যে প্রতিফলন ও প্রতিসরণ হয় তার সঙ্গে সঙ্গেই আর একটি ঘটনা ঘটে। প্রতিফলিত এবং প্রতিসৃত আলোকের কম্পন কেবল দুটি নির্দিষ্ট দিকেই হতে পারে এবং এই দুটি দিক হচ্ছে আপতন তলের সমান্তরাল এবং তার সঙ্গে লম্ব দিক। অর্থাৎ অসমবর্তিত আলোকের যে কোনও দিকে কম্পনের যে স্বাধীনতা আছে তা এখানে লুপ্ত হয়। যে কোনও সাধারণ আপতন-কোণের ক্ষেত্রে প্রতিফলিত ও প্রতিসৃত

উভয় আলোকেই উভয় ধরনের (অর্থাৎ লম্ব ও সমান্তরাল) কম্পন বর্তমান থাকে। কিন্তু আপতন কোণ যদি প্রতিফলক মাধ্যমের সমবর্তক কোণ হয় তাহ'লে প্রতিফলিত রশ্মিতে কেবল লম্ব কম্পন বর্তমান থাকে। কিন্তু প্রতিসৃত রশ্মিতে উভয় প্রকার কম্পনই বর্তমান থাকে। প্রতিফলন ও প্রতিসরণ দ্বারা উৎপন্ন সমবর্তনের কিঞ্চিৎ তত্ত্বগত আলোচনা পরবর্তী অনুচ্ছেদে দেওয়া হ'ল।

২'৫ প্রতিফলন ও প্রতিসরণ দ্বারা তত্ত্বগত আলোচনা :

চিত্র ২১

প্রতিফলিত ও প্রতিসৃত রশ্মির আলোক-ভেক্টর।

মনে করা যাক, চিত্রে XY সমতলটির নীচের μ প্রতিসরাঙ্ক বিশিষ্ট কোন মাধ্যম এবং উপরে শূন্যস্থান রয়েছে এবং সমতলটি তাদের বিভেদতল। OZ অক্ষ XY তলের সঙ্গে লম্ব। XZ তলে AO আলোকরশ্মিটি আপতিত হ'ল। OB এবং OC হচ্ছে যথাক্রমে প্রতিফলিত এবং প্রতিসৃত রশ্মির দিক। তির্যক তরঙ্গের ধর্ম অনুসরণ ক'রে দেখানো যায় যে প্রতিফলিত এবং প্রতিসৃত রশ্মি দুটি আপতিত রশ্মি এবং আপতন বিন্দুতে লম্ব দ্বারা নির্ধারিত সমতলে অর্থাৎ আপতন তলে অবস্থান করবে। তা ছাড়া আপতন কোণ ও প্রতিফলন কোণ সমান হবে এবং আপতন ও প্রতিসরণ কোণ-দ্বয়ের মান স্নেলের সূত্র দ্বারা নির্ধারিত হবে। তড়িৎ-চুম্বকীয় তত্ত্বের সাহায্যেও এই সিদ্ধান্তে উপনীত হওয়া যায়। কিন্তু ঐ তত্ত্বের বৈশিষ্ট্য এই

যে এর সাহায্যে প্রতিফলিত ও প্রতিসৃত আলোকরশ্মিদ্বয়ের তীব্রতার সঙ্গে আপতিত রশ্মির তীব্রতার সম্বন্ধ নির্ণয় করা সম্ভব হয়।

তড়িৎ-চুম্বকীয় তত্ত্ব অনুযায়ী তড়িৎ-ভেক্টর E আলোকরশ্মির দিকের সঙ্গে লম্বভাবে কম্পন করে। সুতরাং ঐ কম্পন আপতিত, প্রতিফলিত এবং প্রতিসৃত এই প্রত্যেক প্রকার রশ্মির দিকের সঙ্গেই সমকোণে থাকবে। এখন যেহেতু এই তিনটি রশ্মিই XZ-তলে অবস্থান করছে সুতরাং XZ তলের সমান্তরাল ও লম্বদিকে তাদের উপাংশ থাকবে। E, R এবং D যথাক্রমে আপতিত, প্রতিফলিত এবং প্রতিসৃত আলোকরশ্মির তড়িৎ-ভেক্টর ধরলে, XZ অর্থাৎ আপতন তলের সঙ্গে সমান্তরাল ও লম্ব উপাংশগুলি লেখা যায় যথাক্রমে $E_{\parallel}$, $R_{\parallel}$, $D_{\parallel}$ এবং $E_{\perp}$, $R_{\perp}$ ও $D_{\perp}$। এখন যদি আপতন কোণ ও প্রতিফলন কোণের প্রত্যেককে i দ্বারা এবং প্রতিসরণ কোণকে r দ্বারা নির্দেশ করা যায় তবে তড়িৎ-চুম্বকীয় তত্ত্বের সাহায্যে দেখানো যায় যে,

$$\frac{R_{\parallel}}{E_{\parallel}}=\frac{\tan(i-r)}{\tan(i+r)},\quad \frac{R_{\perp}}{E_{\perp}}=-\frac{\sin(i-r)}{\sin(i+r)}$$

এবং
$$\frac{D_{\parallel}}{E_{\parallel}}=\frac{2\sin r\cos i}{\sin(i+r)\cos(i-r)},$$
$$\frac{D_{\perp}}{E_{\perp}}=\frac{2\sin r\cos i}{\sin(i+r)}$$

উপরের সমীকরণগুলি থেকে দেখা যাচ্ছে যে যখন $i+r=\frac{\pi}{2}$, তখন $\frac{R_{\parallel}}{E_{\parallel}}=0$, অর্থাৎ প্রতিফলিত আলোকে আপতন তলের সমান্তরাল উপাংশের মান শূন্য। কিন্তু এক্ষেত্রে $\frac{R_{\perp}}{E_{\perp}}$-এর মান শূন্য নয়। অর্থাৎ i-এর এই বিশেষ মানের জন্য প্রতিফলি রশ্মিতে সমান্তরাল কম্পন অনুপস্থিত কিন্তু লম্ব কম্পন উপস্থিত থাকবে। সুতরাং আপতন কোণের এই মানের জন্য অসমবর্তিত আলোক প্রতিফলনের ফলে সম্পূর্ণ সমবর্তিত আলোকে পরিণত হবে। আপতন কোণের এই মানই সমবর্তক কোণ (polarising angle) i_p যার কথা পূর্বে বলা হয়েছে।

যেহেতু $i_p+r_p=\frac{\pi}{2}$,

সুতরাং $\tan i_p = \dfrac{\sin i_p}{\cos i_p} = \dfrac{\sin i_p}{\sin r_p} = \mu.$

একেই বলা হয় ব্রুস্টারের নিয়ম যা আমরা পূর্বে দেখেছি।

আরও দেখা যাচ্ছে i-এর অন্য যে কোনও মানই হ'ক না কেন $R_\parallel$ বা $R_\perp$-এর মান কোনও ক্ষেত্রেই শূন্য নয়। এক্ষেত্রে যদি আপতিত রশ্মি অসমবর্তিত হয়, অর্থাৎ $E_\parallel = E_\perp$ হয়, তবে প্রতিফলিত আলোকে উভয় প্রকার কম্পনই বর্তমান থাকবে

যেহেতু, $\dfrac{R_\parallel}{R_\perp} = -\dfrac{E_\parallel}{E_\perp} \cdot \dfrac{\cos(i+r)}{\cos(i-r)}$ এবং $i > r.$

অতএব $R_\perp > R_\parallel$ অর্থাৎ সমবর্তক কোণ ছাড়া অন্য যে কোনও আপতন কোণেই অসমবর্তিত আলোক আপতনতলে আংশিকভাবে সমবর্তিত হয়।

প্রতিসরণের বেলায় দেখা যায় যে মাধ্যমের মধ্যস্থিত প্রতিসৃত রশ্মির ক্ষেত্রে $\dfrac{D_\perp}{D_\parallel} = \dfrac{E_\perp}{E_\parallel} \cos(i-r)$

এখানে মাধ্যম থেকে পুনরায় বায়ুতে আসবার সময়ে আর একবার প্রতিসরণ হবে। এই নির্গত আলোকে যদি তড়িৎ-ভেক্টরের উপাংশ $D_\perp'$ এবং $D_\parallel'$ হয় তবে, $\dfrac{D_\perp'}{D_\parallel'} = \dfrac{E_\perp}{E_\parallel} \cos^2(i-r)$

এখন যদি আপতিত রশ্মি অসমবর্তিত হয় তবে $E_\perp = E_\parallel$ এবং $D_\perp' < D_\parallel'$, অর্থাৎ প্রতিসৃত রশ্মিতে লম্ব কম্পনের পরিমাণ সমান্তরাল কম্পন অপেক্ষা কম। এক্ষেত্রে প্রতিসৃত রশ্মি আংশিকভাবে সমবর্তিত কিন্তু এই সমবর্তন আপতন তলের সঙ্গে লম্ব তলেই ঘটে।

সমবর্তন কোণে আপতনের ক্ষেত্রে $\tan i_p = \mu$ এবং $i_p + r_p = \dfrac{\pi}{2}$,

সুতরাং $D_\perp'/D_\parallel' = \cos^2(i_p - r_p)$

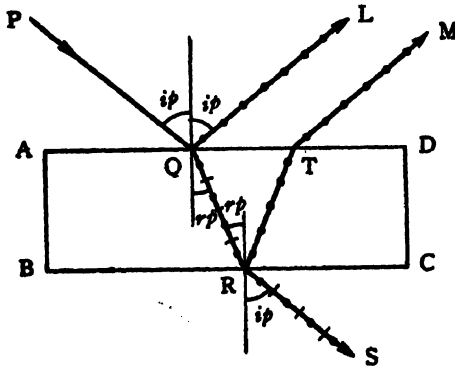
$$= \cos^2\left\{\frac{\pi}{2} - 2i_p\right\}$$

$$= \sin^2 2i_p = \left(\frac{2\tan^2 i_p}{1+\tan^2 i_p}\right)^2 = \frac{4\mu^2}{(1+\mu^2)^2}$$

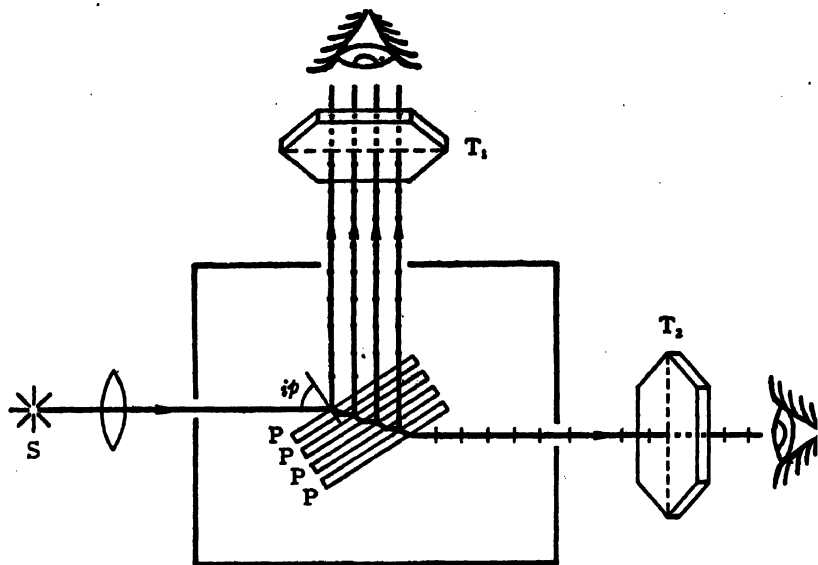
সাধারণ ক্রাউন (crown) কাচের ক্ষেত্রে $\mu = 1{\cdot}5$ ধরলে,

$$D_\perp'/D_\parallel' = 0{\cdot}85$$

এই রকম দশটি কাচের প্লেটের ভিতর দিয়ে প্রতিসরণের পর রশ্মি নির্গত হ'লে সর্বশেষ ক্ষেত্রে এই দুই কম্পনের অনুপাত হবে $(0\cdot85)^{10}=0\cdot19$; অর্থাৎ নির্গত আলোক এখনও সম্পূর্ণ সমবর্তিত হয় নি। কাচের প্লেটের সংখ্যা আরও বাড়িয়ে দিলে সমবর্তন ক্রমশ শতকরা একশতভাগের কাছে পৌঁছবে। এই হচ্ছে নিম্নে বর্ণিত ফলকস্তূপের পরীক্ষার কার্যপ্রণালীর ব্যাখ্যা।

ফলকস্তূপের পরীক্ষা (Pile of plates experiment)ঃ একটি সমান্তরাল কাচের প্লেটের উপর i_p কোণে কোনও রশ্মিগুচ্ছ PQ আপতিত হ'লে প্রতিফলিত রশ্মিতে কেবল আপতন তলের সঙ্গে লম্ব কম্পন থাকবে।

চিত্র ২২

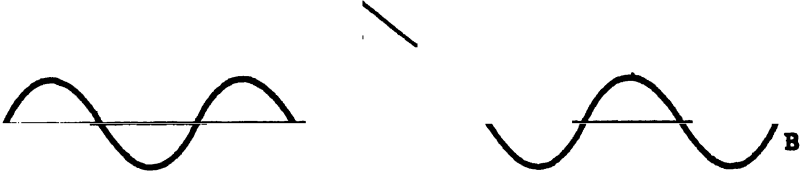
প্রতিসৃত রশ্মি QR কাচ ও বায়ুর বিভেদতলে r_p কোণে আপতিত হবে আবার i_p কোণে বায়ুতে নির্গত হবে। এখন যেহেতু $i_p+r_p=\frac{\pi}{2}$ সুতরাং কাচের অভ্যন্তরে প্রতিফলিত RT রশ্মি এবং বায়ুতে প্রতিসৃত RS রশ্মি পরস্পর সমকোণে থাকবে এবং RT রশ্মির ক্ষেত্রে কম্পন আপতন তলের সঙ্গে লম্ব হবে। এই কম্পনকে পরে শুধু 'লম্ব কম্পন' এবং আপতন তলের সঙ্গে সমান্তরাল কম্পনকে কেবল 'সমান্তরাল কম্পন' বলা হবে। এখানে r_p হবে কাচের অভ্যন্তরে সমবর্তক কোণ। সুতরাং QL ও TM উভয় রশ্মির আলোকই একই দিকে কম্পনশীল সমবর্তিত আলোক হবে। এখন নীচের দিকে অর্থাৎ BC তল থেকে নির্গত আলোকের মধ্যে লম্ব কম্পনযুক্ত আলোকের শতকরা হার নিশ্চয় কমে যাবে। এই প্লেটটির পরে অপর একটি

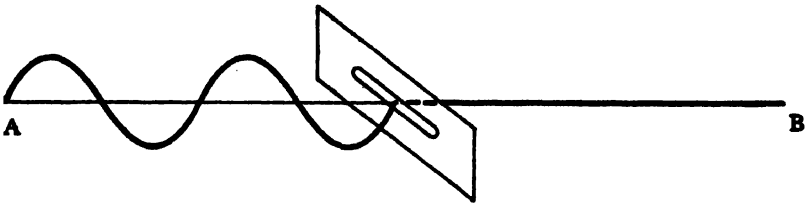
প্লেট যদি প্রথম প্লেটের সঙ্গে সমান্তরালভাবে রাখা হয়, তবে ঐ দ্বিতীয় প্লেটের উপরের ও নীচের তলে প্রতিফলিত আলোকের মধ্যে কেবল লম্ব কম্পন থাকবে। এইভাবে পরপর অনেকগুলি সমান্তরাল কাচের প্লেট রাখলে প্রতিটি প্লেট দ্বারা লম্ব কম্পনের আংশিক পৃথকীকরণ চলতে থাকবে এবং নীচের দিকে নির্গত রশ্মিগুচ্ছে ক্রমশ লম্ব কম্পনের অস্তিত্ব ক্ষীণ হতে ক্ষীণতর হতে থাকবে। ফলকস্তূপের পরীক্ষাটি এই মূলনীতির উপর প্রতিষ্ঠিত।

চিত্র ২৩
ফলকস্তূপের পরীক্ষা।

20/25টি কাচের প্লেট পরপর সমান্তরালভাবে সাজিয়ে প্রথম প্লেটটির উপর একটি একরঙা সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছকে আপতিত করলে প্রতিফলিত রশ্মিগুচ্ছ 100% সমবর্তিত আলোক এবং প্রতিসৃত রশ্মিগুচ্ছও প্রায় 100% সমবর্তিত আলোকে পরিণত হবে। উভয় রশ্মিগুচ্ছের আলোকের কম্পনতল অবশ্য পরস্পরের সঙ্গে লম্ব হবে। একটি টুরমালিন বিশ্লেষককে T_1 ও T_2 অবস্থানে রেখে এই উক্তির সত্যতা পরীক্ষা করা যায়।

২.৬ স্লিট সাদৃশ্য ও তারজালির পরীক্ষা :

আলোকের সমবর্তনকে একটি স্লিট (slit) বা চিড়-এর ভিতর দিয়ে সঞ্চালিত যান্ত্রিক কম্পনের (mechanical vibration) সঙ্গে তুলনা করা

যেতে পারে। কোনও পাতের উপর লম্বা এবং সরু একটি চিড় বা ফাঁককে বলে স্লিট।

চিত্র ২৪
স্লিটের দৈর্ঘ্য ও কম্পনের দিক সমান্তরাল।

এইরকম একটি স্লিটের ভিতর দিয়ে একটি দড়ি AB-কে গলিয়ে স্লিটের দৈর্ঘ্যের সঙ্গে লম্বভাবে রাখা হয়। এখন হাত দিয়ে দড়িটির একপ্রান্ত নেড়ে তার মধ্যে তির্যক কম্পন সৃষ্টি করা হয়। স্লিটের ভিতর দিয়ে ওই কম্পন বিপরীত পাশে সঞ্চালিত হবে কি না তা নির্ভর করবে স্লিটের অবস্থানের

চিত্র ২৫
স্লিটের দৈর্ঘ্য ও কম্পনের দিক পরস্পর লম্ব।

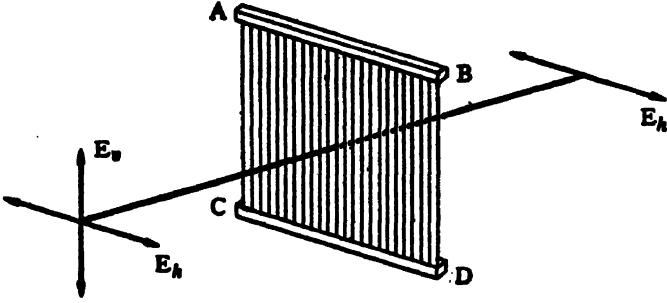
উপর। সহজেই বোঝা যায় যদি স্লিটের দৈর্ঘ্য কম্পনের সঙ্গে সমান্তরাল হয় (যা চিত্র ২৪-এ দেখানো হয়েছে) তা হ'লে কম্পন বিনা বাধায় স্লিট অতিক্রম করে চলে যাবে। কিন্তু যদি স্লিটের দৈর্ঘ্য কম্পনের দিকের সঙ্গে লম্ব হয় (চিত্র ২৫-এর মতো) তাহ'লে সম্পূর্ণ কম্পনজাত শক্তি স্লিটের দ্বারা বাধা প্রাপ্ত হবে এবং স্লিট পার হয়ে কোনও কম্পন যাবে না। অবশ্য যদি স্লিটের অবস্থান কম্পনের দিকের সঙ্গে θ কোণে আনত হয় যার মান 90° ব্যতীত অন্য কিছু সেক্ষেত্রে কম্পনের $\cos\theta$ উপাংশ স্লিটের পশ্চাতে সঞ্চালিত হবে।

কোনও সমবর্তক অথবা বিশ্লেষককে স্লিটের অনুরূপ ধর্মবিশিষ্ট বস্তু মনে করা যেতে পারে। তার ভিতরেও স্লিটের দৈর্ঘ্যের মত একটি নির্বাচিত দিক থাকে যে দিকে আলোকের কম্পন বস্তুটির ভিতর দিয়ে অনায়াসে সঞ্চালিত হয়। কোনও সমবর্তকের ভিতর দিয়ে অসমবর্তিত আলোক চালিত হ'লে ঐ আলোকের রশ্মির সঙ্গে লম্বতলে যে কোনও দিকে কম্পনের যে স্বাধীনতা অসমবর্তিত আলোকের থাকে তা লুপ্ত হয় এবং সমবর্তকের নিজস্ব দিকে সমস্ত কম্পনের $\cos\theta$ উপাংশ সমবর্তকের ভিতর দিয়ে চালিত হয়। কিন্তু এই নির্বাচিত দিকের সঙ্গে লম্ব দিকের উপাংশ বাধাপ্রাপ্ত হয়। সুতরাং সমবর্তক থেকে নির্গত আলোকে কেবল ঐ নির্দিষ্ট দিকেরই কম্পন বর্তমান থাকে। এইরকম আলোককেই আমরা বলি সমবর্তিত আলোক। কোনও সমবর্তক যে নির্দিষ্ট দিকের কম্পনকে সঞ্চালিত করে সেই দিক এবং রশ্মির দিক এই উভয়ের দ্বারা নির্ধারিত সমতলকে ঐ সমবর্তকের **সঞ্চালন তল** (Transmission plane) বলা হয়। বলা নিষ্প্রয়োজন, সঞ্চালন তল নির্দিষ্ট একটি তল মাত্র নয়, সমবর্তকের ভিতর ঐ তলের সঙ্গে সমান্তরাল যে কোনও তলকেই ঐ সমবর্তকের সঞ্চালন তল বলা যায়।

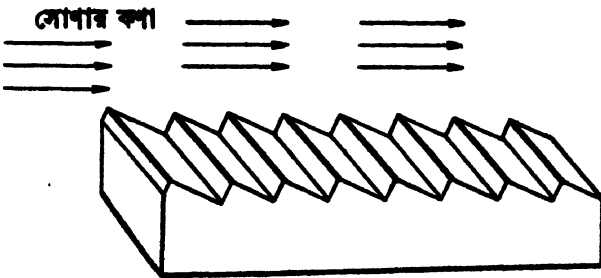
এখন যদি আগে থেকে সমবর্তিত কোনও আলোক অন্য একটি সমবর্তকের উপর এসে পড়ে তাহ'লে তা দ্বিতীয় সমবর্তক দ্বারা কতখানি সঞ্চালিত হবে তা উভয় সমবর্তকের সঞ্চালন তল-দুটির আপেক্ষিক অবস্থানের উপর নির্ভর করবে। যদি উভয়ের সঞ্চালন তল সমান্তরাল হয় তাহ'লে বিনা বাধায় সমস্ত আলোক দ্বিতীয় সমবর্তক দ্বারা সঞ্চালিত হবে। পূর্বে বলা হ'য়েছে দ্বিতীয় সমবর্তকটি বিশ্লেষকের কাজ করে। এখন উভয় সমবর্তকের সঞ্চালন তল যদি পরস্পর লম্ব হয় তাহ'লে কোনও আলোকই বিশ্লেষক থেকে নির্গত হবে না। এই অবস্থাকেই সমবর্তক ও বিশ্লেষকের **বিষম** বা **বিপ্রতীপ অবস্থান** (Crossed position) বলা হয়। কিন্তু সমবর্তক ও বিশ্লেষকের সঞ্চালন তল দুটি যদি 90° ভিন্ন অন্য কোনও θ কোণে আনত হয় তাহ'লে সমবর্তিত আলোক ভেক্টরের $\cos\theta$ উপাংশ বিশ্লেষক থেকে নির্গত হবে।

তারজালির পরীক্ষা

স্লিট সাদৃশ্যের দ্বারা সমবর্তনের যে ব্যাখ্যা করা হ'ল তার একটি বাস্তব অনুরূপও কল্পনা করা যায়। কতকগুলি ধাতব তারকে ABCD ফ্রেমের উপর সমান্তরালভাবে এঁটে একটি তারজালি তৈয়ারী করা হ'ল।

এর ভিতর দিয়ে একটি সমবর্তিত বৈদ্যুতিক তরঙ্গ পাঠিয়ে দিলে কি ঘটনা ঘটবে? বৈদ্যুতিক তরঙ্গটি তারজালি অতিক্রম করে যাবে কিনা এবং গেলেও কি পরিমাণে যাবে তা নির্ভর করবে তারগুলি দৈর্ঘ্যের দিক এবং বৈদ্যুতিক তরঙ্গের কম্পনের দিকের পারস্পরিক অবস্থানের উপর। ধরা যাক

চিত্র ২৬

তারজালির পরীক্ষা।

তারগুলির দৈর্ঘ্য উল্লম্ব (vertical) অবস্থানে আছে এবং E_v ও E_h দুটি যথাক্রমে উল্লম্ব এবং অনুভূমিক (horizontal) দিকে সমবর্তিত বৈদ্যুতিক তরঙ্গ ঐ জালির উপর আপতিত হ'য়েছে। উল্লম্ব তরঙ্গগুলির বৈদ্যুতিক ক্ষেত্র তারের দৈর্ঘ্যের সঙ্গে সমান্তরাল হওয়ায় পরিবাহী তারগুলির উপর বৈদ্যুতিক

চিত্র ২৭

আলোক তরঙ্গের উপযুক্ত 'তারজালি'। খাঁজগুলি ব্যবর্তক ঝাঁঝরির লাইন।

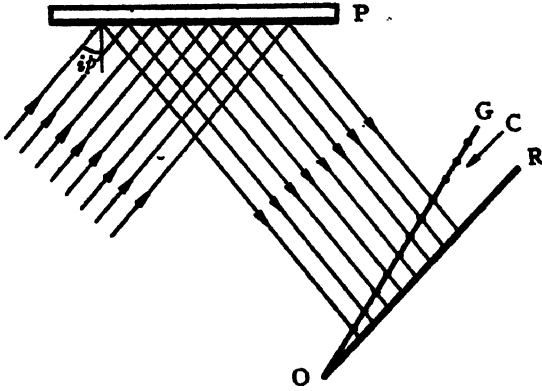
প্রবাহ উৎপন্ন করবে। ঐ প্রবাহ থেকে জুলীয় তাপ (Joule's heating) উৎপন্ন হ'য়ে শক্তি শোষিত হবে। অর্থাৎ উল্লম্ব তাড়িৎ-ভেক্টর E_v তারজালির দ্বারা সম্পূর্ণ বাধাপ্রাপ্ত হবে। কিন্তু অনুভূমিক তাড়িৎ-ভেক্টর

E_h দ্বারা তার সঙ্গে লম্বভাবে অবস্থিত তারে কোনও প্রবাহ উৎপন্ন হবে না, কারণ তাদের ফাঁকে ফাঁকে রয়েছে অপরিবাহী বায়ু। সুতরাং E_h গুলি সম্পূর্ণভাবে তারজালি দ্বারা সঞ্চালিত হবে। আলোকের তড়িৎ-চৌম্বক তত্ত্ব অনুসারে তড়িৎ-ভেক্টর ও তার সঙ্গে লম্ব চৌম্বক ভেক্টর দ্বারা আলোক ভেক্টর গঠিত। সুতরাং আলোক রশ্মিও যদি ঐ রকম তারজালির উপর পড়ে তাহ'লে তার তড়িৎ ভেক্টরের যে উপাংশ তারজালির দৈর্ঘ্যের সমান্তরাল তারা সম্পূর্ণ শোষিত হবে কিন্তু তার সঙ্গে লম্ব উপাংশগুলি সঞ্চালিত হবে। তাহ'লে তারজালিটি একটি সমবর্তকের কাজ করবে। স্লিট সাদৃশ্যের সঙ্গে তারজালির তফাৎ হচ্ছে, স্লিটের দৈর্ঘ্যের সঙ্গে সমান্তরাল যান্ত্রিক কম্পন সঞ্চালিত হয় কিন্তু তারজালির ক্ষেত্রে তারগুলির সঙ্গে সমান্তরাল কম্পন শোষিত হয়।

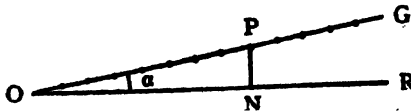
অবশ্য তারজালির মত সহজ কোনও বস্তুর দ্বারা আলোকের সমবর্তন সম্ভব নয়। কারণ তারগুলির ব্যাস ও তাদের মধ্যে ব্যবধানকে আলোকের তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সমপর্যায়ে আনলেই এই পরীক্ষায় সাফল্য লাভ করা যায়। 1963 খৃষ্টাব্দে জি. আর. বার্ড এবং এম. প্যারিশ এই প্রায় অসাধ্যসাধন করায় সফল হয়েছিলেন। তাঁরা প্রতি ইঞ্চিতে 50,000 লাইনবিশিষ্ট একটি ব্যবর্তক ঝাঁঝরিকে (diffraction grating) বায়ুশূন্য প্রকোষ্ঠে রেখে পাশ থেকে প্রায় তল ঘেঁষা আপতনে (grazing incidence) স্বর্ণের কণা চালনা করেন। তার ফলে ঝাঁঝরির দাগগুলির উচু প্রান্তে সমান প্রস্থের এবং আলোকতরঙ্গের দৈর্ঘ্যের সমপর্যায়ের সোনার সূক্ষ্ম রেখা উৎপন্ন হয়েছিল। এই সমান্তরাল এবং সমদূরত্ববিশিষ্ট ধাতব রেখাগুলিই আলোকরশ্মির ক্ষেত্রে কার্যকর তারজালির উৎপত্তি করে যার সাহায্যে আলোকের সমবর্তন দেখানো সম্ভব হয়। চিত্র ২৭ থেকে এই পদ্ধতির বিষয় বুঝতে পারা যাবে।

২.৭ বাইনারের পরীক্ষা (Wiener's experiment) :

প্রতিফলনের দ্বারা উৎপন্ন সমবর্তিত আলোক ভেক্টরের ক্ষেত্রে কম্পনের দিক সম্বন্ধে এ পর্যন্ত যে আলোচনা হ'ল তা অনুমান-ভিত্তিক। অবশ্য এই অনুমানকে ভিত্তি করে যে সমস্ত পরীক্ষা করা হয়েছে তাদের ফলাফল অনুমানকেই সমর্থন করে। 1890 খৃষ্টাব্দে বাইনার একটি চমৎকার পরীক্ষা দ্বারা আলোকের অর্থাৎ তড়িৎ-চুম্বকীয় কম্পনের দিক সম্বন্ধে সুস্পষ্ট সিদ্ধান্তে উপনীত হন। এর দ্বারা পূর্বের অনুমানের সত্যতাও পরীক্ষিত হয়।

বাইনারের পরীক্ষাটি দুটি অংশে ভাগ করা যায়। প্রথম পরীক্ষায় একটি কাচের প্লেট P-এর উপর সমবর্তক কোণে একটি বিস্তৃত একবর্ণীয়

চিত্র ২৮

বাইনারের প্রথম পরীক্ষা।

সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছকে আপতিত করা হয়। এক্ষেত্রে প্রতিফলিত রশ্মিগুচ্ছ সম্পূর্ণ সমবর্তিত আলোক দ্বারা গঠিত হবে। এই রশ্মিগুচ্ছ কোনও সমতল ধাতব প্রতিফলক OR-এর উপর লম্বভাবে আপতিত হয়। তার ফলে প্রতিফলিত রশ্মিগুচ্ছ আপতিত রশ্মিগুচ্ছের সঙ্গে স্থাণুতরঙ্গের (Stationary waves) সৃষ্টি করবে। এখন তড়িৎ-চৌম্বকীয় তত্ত্ব অনুসারে এই স্থাণুতরঙ্গের নোডগুলি প্রতিফলক তলের উপরে (বা প্রকৃতপক্ষে সামান্য নীচে) এবং তা থেকে $\frac{\lambda}{2}$-এর গুণিতক ব্যবধানে অবস্থিত হবে, যখন $\lambda =$

চিত্র ২৯

অ্যান্টিনোডের অবস্থান নির্ণয়।

একবর্ণীয় আলোকের তরঙ্গদৈর্ঘ্য। অ্যান্টিনোডগুলি নোডগুলির ঠিক মাঝামাঝি অবস্থানে অবস্থিত হবে। বাইনার এই স্থাণুতরঙ্গের মাঝখানে প্রতিফলক

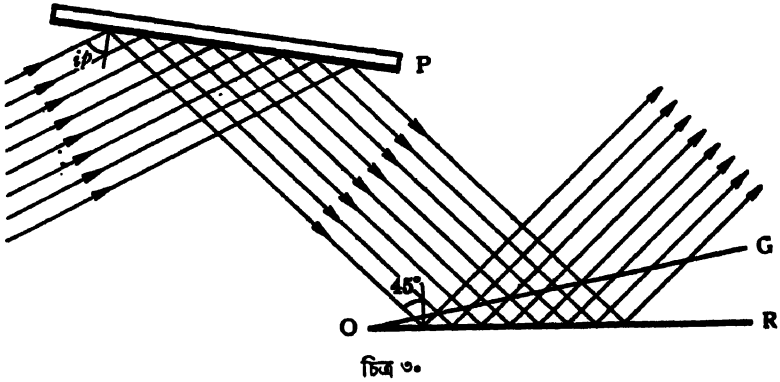
OR-এর সঙ্গে সামান্য কোণে আনত অবস্থায় একটি কাচের প্লেট OG-কে রাখলেন। ঐ প্লেটের ভিতরের অর্থাৎ OR-এর দিকে অবস্থিত তলে খুব পাতলা ফোটোসুবেদী (photosensitive) সিলভার ক্লোরাইডের একটি প্রলেপ দেওয়া ছিল। অন্ধকার ঘরে এইভাবে OG প্লেটটিকে কয়েক সেকেণ্ড রাখার পর উপযুক্ত ডেভেলপার (developer) দ্বারা বিক্রিয়া করায় প্লেটটির উপর সমান ব্যবধানে ধাতব সিলভারে কতকগুলি সমান্তরাল কালো রেখা পাওয়া গেল। সিলভার ক্লোরাইডের ফোটোকেমিকাল ক্রিয়ার জন্যই এই লাইনগুলি উৎপন্ন হ'ল। এখন লাইনগুলির অবস্থান থেকে গণনা করে দেখা গেল তারা ঠিক তড়িৎ-ভেক্টরের অ্যান্টিনোডের বা লুপের অবস্থানগুলিতেই উৎপন্ন হয়েছে। ২৯তম চিত্র থেকে এই গণনার পদ্ধতি বুঝতে পারা যাবে। যদি OR এবং OG-এর মধ্যে আনতিকোণ α হয়, তাহ'লে $PN = OP \sin \alpha$। এখন N বিন্দুতে যদি একটি নোড হয়, তবে P বিন্দুতে একটি লুপ হবে যদি

$$PN = OP \sin \alpha = (2n+1)\frac{\lambda}{4} \text{ হয়।}$$

সুতরাং এই পরীক্ষা থেকে দেখা যাচ্ছে তড়িৎ-ভেক্টরগুলির লুপের অবস্থানেই ফোটোকেমিকাল ক্রিয়া হচ্ছে। কোনও স্থাণুতরঙ্গের লুপেই তরঙ্গের শক্তি সর্বাপেক্ষা সক্রিয় হওয়া উচিত। সুতরাং বলা যায় **আলোকতরঙ্গের বেলায় অন্তত ফোটোকেমিকাল ক্রিয়ার জন্য দায়ী তার তড়িৎ-ভেক্টর।**

পরবর্তীকালে ড্রুড (Drude) এবং নার্ন্স্ট (Nernst) সিলভার ক্লোরাইডের পরিবর্তে ফ্লুওরেসেণ্ট (Fluorescent) বা প্রতিপ্রভ পদার্থের প্রলেপ দিয়ে দেখান যে লুপের অবস্থানে উজ্জ্বল রঙীন রেখা উৎপন্ন হ'চ্ছে। সুতরাং প্রতিপ্রভতার (Fluorescence) জন্যও দায়ী হচ্ছে আলোকতরঙ্গের তড়িৎ-ভেক্টর। এই সমস্ত কারণে এক সময়ে মনে করা হ'ত আলোকশক্তি তড়িৎ-ভেক্টরের মধ্যেই নিহিত আছে। আজকাল অবশ্য সে ধারণা পরিত্যক্ত হয়েছে এবং বর্তমানে তড়িৎ ও চৌম্বক ভেক্টর উভয়েই আলোকশক্তির জন্যে সমভাবে দায়ী মনে করা হয়।

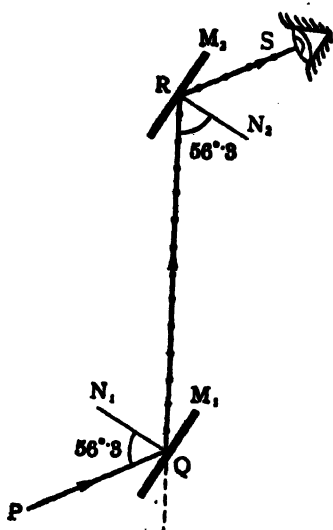
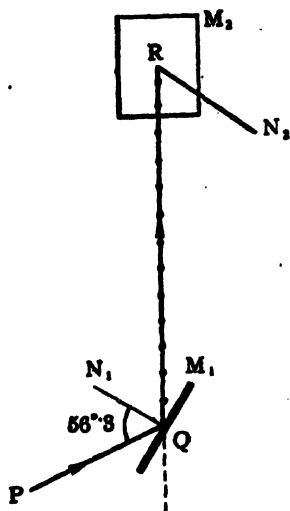
বাইনারের দ্বিতীয় পরীক্ষা : এই পরীক্ষাটি ছিল আলোক কম্পনের দিক সম্বন্ধে। একটি প্রতিফলক P-এর উপর সমবর্তক কোণে প্রতিফলিত হওয়ার পর একটি একবর্ণীয় সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ দ্বিতীয় একটি প্রতিফলক

OR-এর উপর 45° কোণে আপতিত হয়। প্রতিফলিত রশ্মিও অবশ্য 45° কোণে প্রতিফলিত হয় সুতরাং এক্ষেত্রে OR-এর উপর আপতিত ও OR থেকে প্রতিফলিত রশ্মি পরস্পর সমকোণে অবস্থিত হবে। এখন প্রতিফলনের দ্বারা সমবর্তিত আলোকের কম্পন যদি প্রতিফলন তলে হয়, তাহলে OR-এর উপর আপতিত এবং OR থেকে প্রতিফলিত আলোকের কম্পন পরস্পর লম্ব

চিত্র ৩০
বাইনারের দ্বিতীয় পরীক্ষা।

হবে এবং তাদের মধ্যে ব্যতিচার (Interference) সম্ভব হবে না। কিন্তু যদি সমবর্তিত আলোকের কম্পন আপতনতলের সঙ্গে সমকোণে হয়, তাহলে OR-এর উপর আপতিত ও OR থেকে প্রতিফলিত আলোকের কম্পন সমান্তরাল হবে এবং তাদের মধ্যে ব্যতিচার সম্ভব হবে। বাইনার OR-এর সঙ্গে সামান্য কোণে আনত অবস্থায় OG কাচের প্লেটটিকে রাখলেন যার ভিতরের তলে সিলভার ক্লোরাইডের প্রলেপ দেওয়া ছিল। এবারও উপযুক্ত স্থানে কালো ধাতব সিলভারের রেখাসমূহ উৎপন্ন হ'ল। এই পরীক্ষা থেকে প্রমাণিত হ'ল প্রতিফলনের দ্বারা উৎপন্ন সমবর্তিত আলোকে কম্পন হয় আপতন তলের সঙ্গে সমকোণে। আলোক তরঙ্গের তির্যকত্বও এই পরীক্ষা থেকে প্রমাণিত হয়। টুরমালিন কেলাস দ্বারা সঞ্চালিত আলোকের কম্পন তার কেলাস অক্ষ ও আপতিত রশ্মি দ্বারা নির্ধারিত তলের সঙ্গে সমান্তরাল হয় বলে প্রথমে যে ধরে নেওয়া হয়েছিল এই পরীক্ষার সাহায্যে দেখানো যায় সেই অনুমান সত্য।

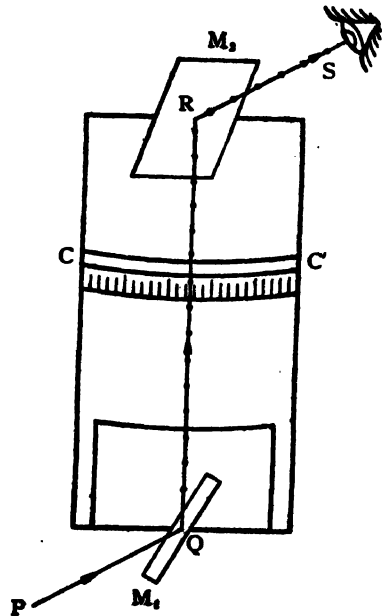
২.৮ বিশ্লেষক হিসাবে প্রতিফলক (A reflector as an analyser) :

আমরা দেখেছি যে, কোনও সমবর্তকই বিশ্লেষকের কাজ করতে পারে।

অতএব কোনও প্রতিফলকও বিশ্লেষকরূপে ব্যবহৃত হতে পারে। দুটি কাচের প্লেট M_1 ও M_2-এর সাহায্যে একটি পরীক্ষা কল্পনা করা যেতে পারে। ধরা যাক, M_1-এর উপর একটি সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ PQ কাচের সমবর্তক কোণ 56·3° ডিগ্রিতে আপতিত হয়েছে। তাহ'লে প্রতিফলিত রশ্মিগুচ্ছ QR পূর্ণ সমবর্তিত আলোক দ্বারা গঠিত হবে। এই আলোকের কম্পন আপতন তল অর্থাৎ কাগজের তলের সঙ্গে সমকোণে হবে। এই কম্পনকে ডট্-চিহ্ন দ্বারা প্রকাশ করা হয়েছে। এখন দ্বিতীয় একটি কাচের প্লেট M_2-কে

চিত্র ৩১
সমান্তরাল অবস্থান।

চিত্র ৩২
বিষম অবস্থান।

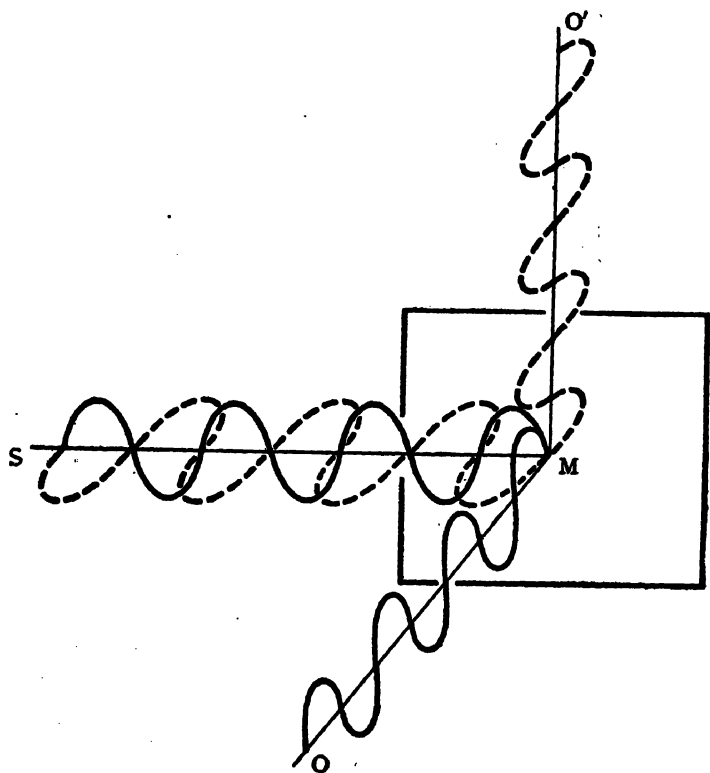
প্রতিফলিত রশ্মি QR-এর পথে এমনভাবে ধরা হয়েছে যাতে এখানেও আপতন কোণ 56·3° হয়। M_2-দ্বারা প্রতিফলিত রশ্মিকে দর্শক চক্ষু দ্বারা দেখছেন। M_2 প্লেটের পিছনের তল থেকে অবাঞ্ছিত প্রতিফলন বন্ধ করার জন্যে পিছনের তলে কার্বনের গুঁড়ার একটি কালো প্রলেপ দেওয়া থাকে। এখন QR রশ্মির আপতন কোণ অপরিবর্তিত রেখে M_2 দর্পণটিকে QR-কে অক্ষ করে ধীরে ধীরে ঘোরাতে হবে। এর ফলে M_2-র R বিন্দুতে অভিলম্ব RN_2-ও ঘুরবে, সুতরাং M_2-র আপতন (তথা প্রতিফলন) তলও ঘুরবে। দর্শক তাঁর চক্ষুকে প্রয়োজন মতো ঘুরিয়ে প্রতিফলিত রশ্মি RS-কে সর্বদা তাঁর দৃষ্টিপথে রাখবেন। দেখা যাবে M_2 দর্পণের অবস্থানের

উপর প্রতিফলিত রশ্মির উজ্জ্বলতা নির্ভর করছে। M_1 ও M_2 দর্পণের আপতন তল যখন সমান্তরাল (৩১তম চিত্রানুযায়ী) তখন প্রতিফলিত রশ্মি RS-এর উজ্জ্বলতা সর্বাধিক। এই অবস্থায় দুটি দর্পণ সমান্তরাল। কিন্তু উভয় দর্পণের আপতন তল যখন পরস্পর লম্ব (৩২তম চিত্রানুযায়ী) তখন M_2 থেকে প্রতিফলিত কোনও আলোকই পাওয়া যাবে না এবং দর্শকের দৃষ্টি ক্ষেত্র থাকবে সম্পূর্ণ অন্ধকার। এই অবস্থাকে বলা হয় দুটি দর্পণের পরস্পর বিষম অবস্থান (crossed position)। দর্পণ দুটির আপতন তল $0°$ থেকে $90°$-র মধ্যবর্তী কোনও কোণে আনত থাকলে θ-র মানের উপর M_2-থেকে প্রতিফলিত আলোকের উজ্জ্বলতা নির্ভর করবে এবং θ যত বড় হবে উজ্জ্বলতাও তত কম হবে।

নোরেমবার্গের পোলারিস্কোপ (Noremberg's polariscope) **:** নোরেমবার্গের পোলারিস্কোপ পূর্বে আলোচিত নীতির উপরে তৈয়ারী। একটি ধাতুপাতের সিলিণ্ডারের উপরে ও নীচে কালো কাচের দুটি দর্পণ M_1 ও M_2 উপযুক্ত অনুভূমিক অক্ষের উপর ঘুরতে পারে। উপরের দর্পণ M_2-কে আবার আলোকরশ্মি QR-এর (অথবা সিলিণ্ডারের অক্ষের) উপর ঘুরাবার ব্যবস্থা আছে। এই ঘূর্ণনের সঙ্গে CC′ ধাতব কলারটিও ঘুরে M_2 দর্পণের কৌণিক অবস্থান নির্দেশ করে। বিকল্প ব্যবস্থা হিসাবে M_2 দর্পণের পরিবর্তে একটি নিকল বা টুরমালিন বিশ্লেষকও যন্ত্রের সঙ্গে থাকে।

চিত্র ৩৩
নোরেমবার্গের পোলারিস্কোপ।

২·৯ বিক্ষেপণের দ্বারা সমবর্তন (Polarisation by scattering) :

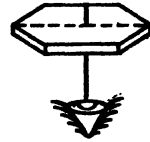
নীল আকাশের আলোক একটি টুরমালিন বিশ্লেষক দিয়ে পরীক্ষা করলে দেখা যায় ওই আলোক আংশিকভাবে সমবর্তিত। বিশ্লেষকটি

ঘোরালে তার বিভিন্ন অবস্থানে বিশ্লেষক থেকে নির্গত আলোকের তীব্রতার হ্রাসবৃদ্ধি হয়। আমরা জানি এই ঘটনাই হচ্ছে বিশ্লেষকে আপতিত আলোকের সমবর্তনের লক্ষণ। নীল আকাশ থেকে আসা সূর্যালোক বিক্ষেপিত (scattered) আলোক হওয়ার জন্যই এই সমবর্তন হ'য়ে

চিত্র ৩৪

বিক্ষেপণ দ্বারা সমবর্তনের ব্যাখ্যা।

থাকে। ধরা যাক্ M একটি বিক্ষেপক অণুর অবস্থান এবং S উৎস থেকে অসমবর্তিত আলোক M-এর উপর আপতিত হচ্ছে। এই আলোক M-এর উপর পড়ে তার ইলেকট্রনগুলির মধ্যে SM-এর সঙ্গে লম্ব কম্পনের সৃষ্টি করে। তার ফলে ঐ অণু থেকে নূতন কম্পন চারিদিকে ছড়িয়ে পড়ে। এই ঘটনাকে আমরা বলি বিক্ষেপণ (scattering)। এখন

যদি SM-এর সঙ্গে লম্ব MO-দিকে O একজন দর্শকের অবস্থান হয় তাহ'লে তার দিকে কোন্ ধরনের কম্পন পৌঁছবে? OM এবং SM উভয়ের সঙ্গে লম্ব কম্পনই MO বরাবর যেতে পারে। OM এবং SM উভয়ে অনুভূমিক হ'লে সেই কম্পনকে উল্লম্বদিকে হ'তেই হবে। অতএব O অবস্থানের দর্শক উল্লম্ব কম্পনবিশিষ্ট সমবর্তিত আলোক দেখতে পাবে। অনুরূপ যুক্তি অনুসরণ করে বলা যায় O′ অবস্থানের কোন দর্শক M থেকে বিক্ষেপিত যে আলোক দেখতে পাবে তাও সমবর্তিত কিন্তু তার কম্পনের দিক হবে অনুভূমিক এবং SM-এর সঙ্গে লম্ব।

কৃত্রিম উপায়ে বিক্ষেপণের দ্বারা সমবর্তিত আলোক উৎপন্ন করা যায়। একটি কাচের পাত্রে অ্যালকোহলীয় দ্রবণে গ্যাম্বোজ-কণার (gamboz particles) অবদ্রব (emulsion) তৈয়ারী করলে তার মধ্যে গ্যাম্বোজ কণাগুলি প্রলম্বিত (suspended) অবস্থায় থাকবে। এই কণাগুলির উপর আলোক রশ্মি আপতিত করলে কণাগুলির দ্বারা আলোক বিক্ষেপিত হবে। এই বিক্ষেপিত আলোককে টুরমালিন বিশ্লেষক দ্বারা বিশ্লেষিত করলে দেখা যাবে ওই আলোক আংশিকভাবে সমবর্তিত।

চিত্র ৩৫
বিক্ষেপণ দ্বারা সমবর্তনের পরীক্ষা।

আকাশের নীলিমা : লর্ড র‍্যালের (Rayleigh) নিয়ম অনুসারে আলোকের তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সমপর্যায়ের আয়তনবিশিষ্ট বস্তুকণার উপর আলোকরশ্মি পড়লে বিক্ষেপণ হয়। এই বিক্ষেপণের মাত্রা তরঙ্গদৈর্ঘ্যের চতুর্থ ঘাতের সঙ্গে ব্যস্তানুপাতী। ফলে বায়ুর অণুগুলির দ্বারা যে আলোক বিক্ষেপিত হবে তার মধ্যে বর্ণালীর নীল ও ভায়োলেট অর্থাৎ সর্বাপেক্ষা কম তরঙ্গদৈর্ঘ্য বিশিষ্ট আলোকের প্রাধান্য থাকবে। এইজন্যেই আকাশকে নীল দেখায়। তাছাড়া বিক্ষেপিত আলোকের একটা বড় ভগ্নাংশ সমবর্তিত হয়। অতএব নীল আকাশ থেকে আসা আলোককে আংশিকভাবে সমবর্তিত হতে দেখা যায়।

২'১০ সমবর্তনের বিভিন্ন উপায় :

সমতল সমবর্তন উৎপাদনের নিম্নলিখিত উপায়গুলি আমরা আলোচনা করেছি :

১। প্রতিফলন দ্বারা

২। প্রতিসরণ দ্বারা

৩। বিক্ষেপণ দ্বারা

৪। উপযুক্ত তারজালির দ্বারা

এইগুলি ব্যতীত অন্যান্য যে সমস্ত উপায় পরে আলোচিত হবে সেইগুলি হ'চ্ছে :

৫। দ্বৈত প্রতিসরণ (double refraction)

৬। দ্বিরাগত্ব (dichroism) [টুরমালিন কেলাস প্রকৃতপক্ষে এই প্রণালীতেই সমবর্তন উৎপন্ন করে।]

সারাংশ

অসমবর্তিত আলোকের কম্পন রশ্মির সঙ্গে সমকোণে অবস্থিত তলে যে কোনও দিকে হ'তে পারে এবং এই দিক দ্রুত পরিবর্তিত হ'তে থাকে। সমবর্তিত হ'লে কম্পনের দিক সম্বন্ধে এই স্বাধীনতা লুপ্ত হয় এবং মাত্র একটি নির্দিষ্ট দিকে কম্পন হয়।

টুরমালিন কেলাসের ভিতর দিয়ে আলোক সঞ্চালিত হ'লে নির্গত আলোকের দিক সম্বন্ধে স্বাধীনতা থাকে না। সুতরাং ওই নির্গত আলোকও সমবর্তিত আলোক। এই কম্পনের দিক কেলাস অক্ষের সঙ্গে সম্পর্কিত। কারণ দুটি টুরমালিনের অক্ষকে পরস্পর সমান্তরাল রাখলে সর্বাপেক্ষা বেশী আলোক উভয়ের দ্বারা সঞ্চালিত হয়। কিন্তু তাদের অক্ষদ্বয় পরস্পর লম্বভাবে রাখলে কোনও আলোকই নির্গত হয় না। দুটি টুরমালিনের এই পরস্পর লম্ব অবস্থানকে বিষম অবস্থান বলে। দুটির অক্ষ কোনও θ কোণে আনত থাকলে সঞ্চালিত আলোকের ক্ষেত্রে কম্পনের বিস্তার $\cos\theta$-এর সঙ্গে এবং ওই আলোকের তীব্রতা $\cos^2\theta$-এর সঙ্গে সমানুপাতী হয়। এই নিয়মটি ম্যালাসের সূত্র নামে পরিচিত। এইজাতীয় পরীক্ষায় প্রথম কেলাসকে সমবর্তক ও দ্বিতীয় কেলাসকে বিশ্লেষক বলা হয়।

প্রতিফলিত আলোক সর্বদা আংশিক সমবর্তিত কিন্তু প্রতিফলক মাধ্যমের উপর নির্ভরশীল নির্দিষ্ট কোণে আপতিত হলে সম্পূর্ণ সমবর্তিত হয়। এই নির্দিষ্ট কোণকে প্রতিফলক মাধ্যমের সমবর্তক কোণ i_p বলা হয়। ব্রুস্টার দেখিয়েছেন প্রতিফলক মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক μ এবং সমবর্তক কোণ i_p, $\mu = \tan i_p$ সূত্র দ্বারা সম্পর্কিত। প্রতিফলককেও সমবর্তক এবং বিশ্লেষকরূপে ব্যবহার করা যায়। ব্রুস্টারের সূত্রের সঙ্গে স্নেলের সূত্র মিলিত করলে পাওয়া যাবে $i_p + r_p = \frac{\pi}{2}$, যখন r_p = প্রতিফলক মাধ্যমের মধ্যে প্রতিসরণ কোণ।

আলোকরশ্মি এক মাধ্যম থেকে অন্য মাধ্যমে প্রতিফলিত এবং প্রতিসৃত হওয়ার সময়েই তার সমস্ত দিকে কম্পনের স্বাধীনতা লুপ্ত হয় এবং প্রতিফলিত ও প্রতিসৃত আলোকে কেবল আপতন তলের সঙ্গে সমান্তরাল ও লম্ব কম্পন হয়। সমবর্তক কোণে আপতন হ'লে প্রতিফলিত আলোকে কেবল লম্ব কম্পন বর্তমান থাকে কিন্তু প্রতিসৃত আলোকে থাকে লম্ব ও সমান্তরাল উভয় প্রকার কম্পন। এক্ষেত্রে প্রতিফলক মাধ্যমের প্রকৃতি অনুসারে লম্ব কম্পনের একটি নির্দিষ্ট ভগ্নাংশ ($\mu = 1{\cdot}5$ মানবিশিষ্ট ক্রাউন কাচের ক্ষেত্রে এই ভগ্নাংশ 15%) প্রতিফলিত আলোকে বর্তমান থাকে। এইভাবে পরপর 20/25টি কাচফলক সমান্তরাল রেখে তাদের উপর i_p $(= 56{\cdot}3^\circ)$ কোণে আলোকরশ্মি আপতিত করলে ক্রম-পৃথকীকরণ হতে হতে শেষ পর্যন্ত নির্গত আলোক প্রায় 100% সমান্তরাল কম্পন দ্বারা গঠিত হয়। একে বলে ফলকস্তূপের পরীক্ষা।

আলোকের তরঙ্গদৈর্ঘ্যের মতো সামান্য ব্যবধানে অবস্থিত কতকগুলি সূক্ষ্ম ও সমান্তরাল ধাতব পরিবাহীর সমষ্টির উপর আলোক পড়লে পরিবাহীর সমান্তরাল তড়িৎ-ভেক্টর শোষিত হয় কিন্তু তাদের সঙ্গে লম্ব তড়িৎ-ভেক্টর সঞ্চালিত হয়। সম্প্রতি উদ্ভাবিত সমবর্তনের এই অভিনব উপায়টি থেকে আলোক তরঙ্গের তড়িৎ-চুম্বকীয় প্রকৃতিও অনুমিত হয়।

বাইনার 1890 খৃষ্টাব্দে প্রতিফলন দ্বারা উৎপন্ন সমবর্তিত আলোককে পুনরায় প্রতিফলিত করে স্থাণুতরঙ্গ উৎপন্ন করেন এবং ঐ স্থাণুতরঙ্গের পথে ফোটোগ্রাফিক প্লেট রেখে তার উপর সমান্তরাল কালো রেখা দেখতে পান। রেখাগুলি তড়িৎ-চৌম্বক তত্ত্ব অনুসারে তড়িৎ-ভেক্টরের লুপের অবস্থানে পাওয়া যায়। এই পরীক্ষা থেকে নিঃসংশয়ে প্রমাণিত হয় যে প্রতিফলন দ্বারা সমবর্তিত আলোকের কম্পন আপতন তলের সঙ্গে সমকোণে হয়।

অনুশীলনী

১। সমবর্তিত ও অসমবর্তিত আলোকের মূল পার্থক্য কী ?

২। টুরমালিন কেলাসের সমবর্তন ও বিশ্লেষণ ক্রিয়ার বর্ণনা দাও।

৩। ম্যালাসের সূত্রটির উল্লেখ কর ও ব্যাখ্যা দাও।

৪। প্রতিফলনের সাহায্যে সমবর্তিত আলোক উৎপাদনের একটি প্রণালী বর্ণনা কর। সমবর্তক কোণের সংজ্ঞা নির্দেশ কর।

৫। ব্রুস্টারের নিয়মটির উল্লেখ কর এবং তড়িৎ-চুম্বকীয় তত্ত্ব থেকে সূত্রটি প্রতিপন্ন কর। এই নিয়ম থেকে কী অনুসিদ্ধান্ত করা যায় এবং ওই অনুসিদ্ধান্ত থেকে প্রতিফলনের দ্বারা সমবর্তিত আলোকের কম্পনের দিক সম্বন্ধে কী অনুমান করা যায় ?

৬। ফলকস্তূপের পরীক্ষাটির বর্ণনা দাও। দেখাও যে এই পরীক্ষার সাহায্যে কিভাবে প্রতিসরণের দ্বারাও সমবর্তিত আলোক পাওয়া যায়।

৭। জল ও হীরকের প্রতিসরাঙ্ক যথাক্রমে 1·33 এবং 2·1। এই মাধ্যম দুটির সমবর্তক কোণের মান কত ?

৮। সমবর্তনের সঙ্গে স্লিট সাদৃশ্য বলতে কি বোঝায় ? বাস্তব ক্ষেত্রে উদ্ভাবিত এই রকম একটি সমবর্তক স্লিটের বর্ণনা ও কার্যপ্রণালী ব্যাখ্যা কর।

৯। বাইনারের পরীক্ষার দুটি অংশ বর্ণনা কর। ঐ দুটি পরীক্ষা থেকে আলোকের ভেক্টর এবং সমবর্তিত আলোকের কম্পনের দিক সম্বন্ধে কি সিদ্ধান্তে আসা যায় ?

১০। 'তড়িৎ-ভেক্টরেই আলোকশক্তি নিহিত থাকে'—এই উক্তিটির যাথার্থ্য বিচার কর।

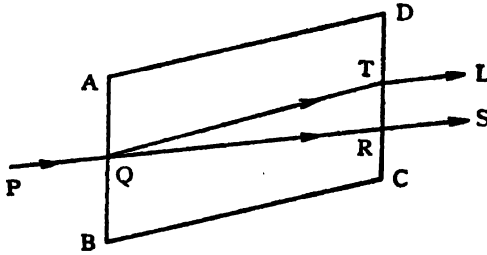
১১। বিশ্লেষক হিসাবে প্রতিফলকের ব্যবহার একটি উপযুক্ত যন্ত্রের কার্যপ্রণালী বর্ণনার মাধ্যমে আলোচনা কর।

১২। বিক্ষেপণের দ্বারা সমবর্তন উৎপাদনের মূলনীতি কি ? বিক্ষেপণের দ্বারা সমবর্তিত আলোক উৎপাদনের একটি প্রণালী বর্ণনা কর। নীল আকাশ থেকে আসা আলোক আংশিকভাবে সমবর্তিত হবার কারণ কি ?

তৃতীয় অধ্যায়

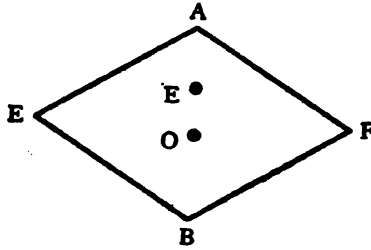
দ্বৈত প্রতিসরণ

৩·১ দ্বৈত প্রতিসরণ :

ডাচ বিজ্ঞানী ইরাজমাস বার্থোলিনাস (Erasmus Bartholinus) 1669 খৃষ্টাব্দে ক্যালসাইট কেলাসের দ্বৈত প্রতিসরণ ধর্ম আবিষ্কার করেন। ক্যালসাইট হচ্ছে কেলাসিত (crystallised) ক্যালসিয়াম কার্বনেট, কাচের মত স্বচ্ছ। এক সময়ে আইসল্যাণ্ডে প্রচুর পাওয়া যেত বলে একে আইসল্যাণ্ড স্পারও বলা হয়। ক্যালসাইটের একটি বড় স্বাভাবিক কেলাস নিয়ে ছুরির ফলা দিয়ে মৃদুভাবে আঘাত করলে নির্দিষ্ট তল বরাবর ফেটে যাবে। এই ফাটা বা চিড় খাওয়া যে তল বরাবর হয়, তাকে বলে বিদারণ তল (cleavage face)। একটি ক্যালসাইটকে বিভিন্নভাবে বিদারণ তল বরাবর বিদীর্ণ করে সমান্তরাল চৌপল (parallelopiped) বা রম্ব্ (rhomb) আকারের

চিত্র ৩৬
দ্বৈত প্রতিসরণ।

কেলাস পাওয়া যায়। এইরকম রম্বের বিপরীত তলগুলি সামান্তরিক ও পরস্পর সমান্তরাল হবে।

ধরা যাক ABCD এইরকম এইটি রম্ব্-এর প্রস্থচ্ছেদ এবং AB ও CD দুটি বিপরীত ও সমান্তরাল তলের ছেদ। PQ একটি অসমবর্তিত আলোকরশ্মি যা AB তলের উপর লম্বভাবে আপতিত হয়েছে। ABCD

প্রস্থচ্ছেদকে এখানে একটি মৌলিক ছেদ (principal section) ধরা হয়েছে, যার সংজ্ঞা পরে দেওয়া হবে। দেখা যাবে PQ রশ্মিটি কেলাসের ভিতরে প্রতিসরণের পরে দুটি রশ্মিতে বিভক্ত হ'য়ে নির্গত হচ্ছে। কেলাসের মধ্যে রশ্মিদুটির অনুসৃত পথ হচ্ছে যথাক্রমে QR এবং QT.

চিত্র ৩৭

সাধারণ ও ব্যতিক্রান্ত বিম্ব।

কাগজের উপর একটি কালির বিন্দু দিয়ে তার উপর কেলাসের AB তলটি রাখলে উপর থেকে ঐ কালির বিন্দুর সাধারণত দুটি বিম্ব দেখতে পাওয়া যাবে। চিত্রে ঐ দুটি বিম্ব হচ্ছে O এবং E, এই দুটি বিম্ব নিশ্চয় দুটি রশ্মিগুচ্ছ (চিত্রে QR এবং QT-র অনুরূপ) দ্বারা উৎপন্ন হয়েছে। এখন কালির বিন্দুর অভিমুখী উল্লম্ব রেখাকে অক্ষ করে কেলাসটিকে যদি ঘোরানো যায় তাহ'লে একটি বিম্ব স্থির থাকবে এবং ঐ বিম্বকে কেন্দ্র করে অপর বিম্বটি বৃত্তাকারে ঘুরবে। এক্ষেত্রে দেখা যাবে O বিম্বটি স্থির আছে এবং O-কে কেন্দ্র করে E-বিম্বটি ঘুরছে।

দেখা যায় স্থিরবিম্বটি যে রশ্মিগুচ্ছ দ্বারা গঠিত হচ্ছে তারা প্রতিসরণের সাধারণ নিয়ম অনুসরণ করে। কিন্তু ঘূর্ণনশীল বিন্দুটি যে রশ্মিগুচ্ছ দ্বারা গঠিত হচ্ছে তারা প্রতিসরণের সাধারণ নিয়ম অনুসরণ করে না। স্থির বিম্বটিকে সাধারণ বিম্ব (ordinary image) এবং ঘূর্ণনশীল বিম্বটিকে ব্যতিক্রান্ত বিম্ব (extra-ordinary image) বলা হয়। এদের উৎপাদনকারী মূল রশ্মিদ্বয়কে বলা হয় যথাক্রমে সাধারণ রশ্মি (ordinary ray) এবং ব্যতিক্রান্ত রশ্মি (extra-ordinary ray)। সংক্ষেপে সাধারণ রশ্মিকে O-রশ্মি (O-ray) এবং ব্যতিক্রান্ত রশ্মিকে E-রশ্মি (E-ray) বলা হবে।

কোনও আলোক মাধ্যমে একটি আলোক রশ্মির দুটি রশ্মিতে বিশ্লিষ্ট হয়ে পূর্বের উদাহরণের মতো **দুটি পথ অনুসরণ করাকে বলে দ্বৈত প্রতিসরণ।** দ্বৈত প্রতিসরণ কেবল ক্যালসাইট কেলাসেরই বৈশিষ্ট্য নয়। কোয়ার্জ (quartz), টুরমালিন, অভ্র বা মাইকা (mica), বরফ প্রভৃতি অসংখ্য কেলাসিত পদার্থের মধ্যে এই ধর্ম দেখতে পাওয়া যায়। প্রকৃতপক্ষে যে সমস্ত পদার্থের কেলাসের আকার সমকৌণিক চৌপল (rectangular parallelopiped) নয় তাদের মধ্যেই এই দ্বৈত প্রতিসরণ ধর্ম কমবেশী দেখতে পাওয়া যায়। ক্যালসাইটের মধ্যে এই ধর্ম অত্যন্ত প্রবল বলে দ্বৈত প্রতিসরণ ধর্মের আলোচনা ও প্রয়োগের ক্ষেত্রে ক্যালসাইটের ব্যবহার খুব বেশী।

সাধারণ ও ব্যতিক্রান্ত রশ্মির মধ্যে নিম্নলিখিত সহজ পার্থক্যগুলি লক্ষ্য করা যায়ঃ

(১) সাধারণ রশ্মি প্রতিসরণের সাধারণ নিয়ম অনুসরণ করে অর্থাৎ যে কোনও দিকে আলোক রশ্মি আপতিত হোক সর্বদা আপতিত ও প্রতিসৃত রশ্মি এক সমতলে থাকে এবং $\sin i/\sin r$ অনুপাতটি ধ্রুবক হয়। সুতরাং দ্বৈত প্রতিসারক মাধ্যমের মধ্যেও সাধারণ আলোক তরঙ্গের বেগ সমস্ত দিকে সমান হয়।

(২) ব্যতিক্রান্ত রশ্মি সর্বদা প্রতিসরণের সাধারণ নিয়ম অনুসরণ করে না, অর্থাৎ প্রতিসৃত রশ্মি সর্বদা আপতন তলে অবস্থিত হয় না এবং $\sin i/\sin r$ অনুপাতটিও ধ্রুবক হয় না। সুতরাং দ্বৈত প্রতিসারক মাধম্যের মধ্যে ব্যতিক্রান্ত আলোকতরঙ্গের বেগ সমস্ত দিকে সমান হয় না।

(৩) দ্বৈত প্রতিসারক মাধ্যমের মধ্যে বিশেষ বিশেষ তলে প্রতিসরণ হ'লে আপতিত রশ্মি ও ব্যতিক্রান্ত প্রতিসৃত রশ্মি আপতন তলে অবস্থিত হয় এবং বিশেষ বিশেষ তলে প্রতিসরণের ক্ষেত্রে $\sin i/\sin r$ অনুপাতটিও ধ্রুবক হয়। এ সম্বন্ধে পরে বিস্তারিত আলোচনা করা হবে।

(৪) সমস্ত দ্বৈত প্রতিসারক মাধ্যমে অন্তত একটি (কোথাও বা দুটি) দিক থাকে যেদিকে আলোক রশ্মির প্রতিসরণ হ'লে কোনও দ্বৈত প্রতিসরণ হয় না। এই দিকগুলি ঐ মাধ্যমের **আলোক অক্ষের** দিক।

আলোক অক্ষ (Optic axis)**ঃ কোনও দ্বৈত প্রতিসারক কেলাসের মধ্যে যে নির্দিষ্ট দিকে আলোক রশ্মির প্রতিসরণ হ'লে**

রশ্মিটি দুটি প্রতিসৃত রশ্মিতে বিশ্লিষ্ট হয় না সেই দিককে ঐ কেলাসের আলোক-অক্ষ বলে।

কোনও কেলাসে আলোক-অক্ষের একটি মাত্র দিক থাকলে তাকে **একাক্ষিক কেলাস** (Uniaxial crystal) বলে। উদাহরণঃ ক্যালসাইট, টুরমালিন।

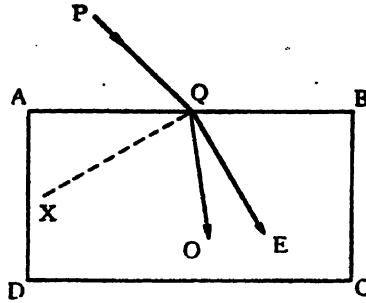
কোনও কেলাসে দুটি আলোক-অক্ষ থাকলে তাকে **দ্বি-অক্ষীয় কেলাস** (Biaxial crystal) বলে। যেমনঃ কোয়ার্জ।

আলোক-অক্ষের সংজ্ঞা থেকে দেখা যায় আলোক-অক্ষ একটি নির্দিষ্ট দিক মাত্র, নির্দিষ্ট সরল রেখা নয়। ঐ দিকটি কেলাসের মধ্যে যে কোনও বিন্দুগামী হতে পারে। কেলাসের মধ্যে বিভিন্ন বিন্দুগামী আলোক-অক্ষগুলি অবশ্য সমান্তরাল। আলোক-অক্ষের দিকটি কেলাসের স্বাভাবিক গঠনের সঙ্গে সম্পর্কিত হয়। স্বাভাবিক গঠনের কোনও কেলাসের সাম্যতা অক্ষ (axis of symmetry) বা কেলাস-গাঠনিক অক্ষের (crystallographic axis) সঙ্গে সমান্তরাল দিকটি ঐ কেলাসের আলোক-অক্ষ হয়ে থাকে।

মৌলিক ছেদ ও মুলতল (Principal section and principal plane)ঃ দুটি বিপরীত এবং সমান্তরাল তলবিশিষ্ট কোনও দ্বৈতপ্রতিসারক কেলাসের আলোক-অক্ষগামী কোনও তল যদি ঐ দুই সমান্তরাল তলের সঙ্গে লম্ব হয় তাহ'লে তাকে কেলাসের একটি **মৌলিক ছেদ** বলে। কেলাসটি যদি রম্ব্-আকারের হয় তাহ'লে তার এক এক জোড়া ক'রে তিন জোড়া সমান্তরাল এবং বিপরীত বহিঃস্থ তল থাকবে। সুতরাং ঐ কেলাসের ভিতরে অবস্থিত যে কোনও বিন্দুগামী তিনটি মৌলিক ছেদ কল্পনা করা যেতে পারে।

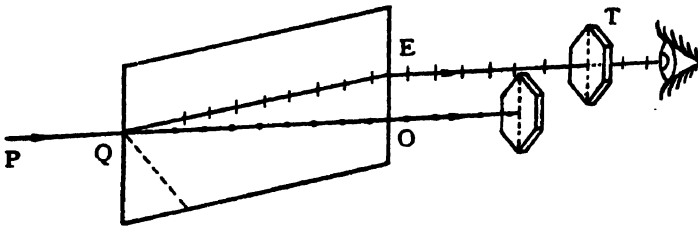
কোনও দ্বৈত প্রতিসারক কেলাসের মধ্যে আলোকরশ্মির দ্বৈত প্রতিসরণ ঘটলে সাধারণ বা O-রশ্মি এবং কেলাসের আলোক-অক্ষ উভয়ের দ্বারা নির্দিষ্ট তলকে **সাধারণ রশ্মির মুলতল** এবং ব্যতিক্রান্ত বা E-রশ্মি ও আলোক-অক্ষ দ্বারা নির্দিষ্ট তলকে **ব্যতিক্রান্ত রশ্মির মুলতল** বলে। মৌলিক ছেদে O-রশ্মি এবং E-রশ্মি উভয়েই অবস্থিত হ'লে মৌলিক ছেদ ও দুটি মুলতল একই তলে অবস্থিত হয়। চিত্রে দেখানো হয়েছে AB ও CD কোনও দ্বৈতপ্রতিসারক কেলাসের দুটি বিপরীত সমান্তরাল বহিঃস্থ তলের ছেদ এবং QX আলোক-অক্ষ। তাহ'লে QX-গামী

এবং AB ও CD তলের সঙ্গে লম্ব তলটি (এক্ষেত্রে কাগজের তলটি) Q বিন্দুগামী মৌলিক ছেদ হবে। যদি QO এবং QE যথাক্রমে O-রশ্মি

চিত্র ৩৮

ও E-রশ্মি হয় এবং তারাও মৌলিক ছেদে অবস্থিত হয় তাহ'লে মৌলিক ছেদই হবে O-রশ্মি ও E-রশ্মির মূলতল।

৩'২ দ্বৈত প্রতিসরণ ও সমবর্তন :

দ্বৈত প্রতিসরণের ক্ষেত্রে প্রতিসৃত রশ্মি দুটি অর্থাৎ O-রশ্মি ও E-রশ্মিকে

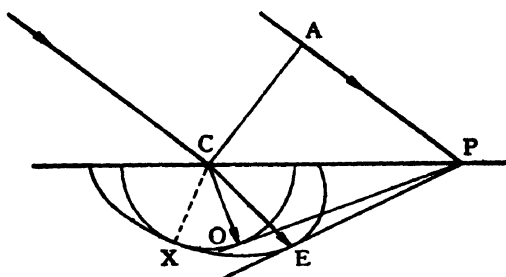
চিত্র ৩৯

টুরমালিন দ্বারা O এবং E-রশ্মির বিশ্লেষণ।

বিশ্লেষণ করলে দেখা যায় উভয়েই সমবর্তিত আলোকের রশ্মি। মনে করা যাক QO এবং QE কোনও দ্বৈতপ্রতিসারক কেলাস দ্বারা উৎপন্ন যথাক্রমে O- এবং E-রশ্মি। একটি টুরমালিন অথবা কাচের প্লেটের সাহায্যে ঐ দুটি রশ্মিকে পরীক্ষা করলে দেখা যাবে উভয়েই সমবর্তিত এবং তাদের কম্পনতল দুটি পরস্পর লম্ব। এক্ষেত্রে মৌলিক ছেদ ও দুটি মূলতল একই সমতলে অবস্থিত কল্পনা করা হয়েছে। তাহ'লে O-রশ্মি এবং E-রশ্মি উভয়েই মৌলিক ছেদে অবস্থিত হবে। দেখা যাবে এক্ষেত্রে E-রশ্মির

দ্বারা বাহিত আলোকের কম্পন মৌলিক ছেদে অবস্থিত কিন্তু O-রশ্মি-বাহিত আলোকের কম্পন মৌলিক ছেদের সঙ্গে সমকোণে অবস্থিত। মনে রাখতে হবে সমস্ত আলোক-কম্পনই আবার আলোক-রশ্মির সঙ্গে সমকোণে হবে। সুতরাং মৌলিক ছেদের সঙ্গে সমান্তরাল কম্পনকে E-রশ্মির সঙ্গে লম্ব ছোট ছোট দাঁড়ি বা ড্যাশ (dashes) দ্বারা এবং মৌলিক ছেদের সঙ্গে লম্ব কম্পনকে O-রশ্মির উপরে ডট (dots) দ্বারা সূচিত করা যায়। দ্বৈত প্রতিসরণ দ্বারা উৎপন্ন প্রত্যেকটি রশ্মিই সমবর্তিত আলোকের রশ্মি। সুতরাং দ্বৈত প্রতিসরণকে সমবর্তিত আলোক উৎপাদনের একটি উপায় বিবেচনা করা যায়।

সমবর্তন তল ও কম্পন তল (Plane of polarisation and plane of vibration)**:** প্রতিফলন দ্বারা উৎপন্ন সমবর্তিত আলোককে প্রতিফলক দর্পণ দ্বারা বিশ্লেষণ করলে দেখা যায় যখন সমবর্তক ও বিশ্লেষক উভয় দর্পণের আপতন তল সমান্তরাল তখন বিশ্লেষক দ্বারা প্রতিফলিত আলোকের তীব্রতা চরম মাত্রাবিশিষ্ট। এই ঘটনাকে অনুসরণ করে প্রতিফলন দ্বারা সমবর্তিত আলোকের ক্ষেত্রে আপতন তলকেই **সমবর্তন তল** বলা হয়। কিন্তু পরবর্তীকালে বাইনারের পরীক্ষার ফলাফল আলোচনা ক'রে দেখা যায়, প্রকৃতপক্ষে তড়িৎ-ভেক্টরের কম্পন আপতন তলের সঙ্গে লম্বভাবে হয়। সুতরাং তড়িৎ-ভেক্টরকে আলোক ভেক্টর ধরার রীতি অনুসারে বলতে হয় প্রতিফলনের দ্বারা সমবর্তিত আলোকের কম্পন আপতন তলের সঙ্গে লম্বভাবে হচ্ছে। এখন কম্পনের দিক ও আলোকরশ্মির দিক দ্বারা যে তলটি নির্দিষ্ট হয় তাকে বলা হয় **কম্পন তল**। অতএব পূর্বের সংজ্ঞা অনুসারে সমবর্তন তল এই কম্পনতলের সঙ্গে সমকোণে অবস্থিত। প্রতিফলন ব্যতীত অন্য যে কোনও উপায়ে সমবর্তিত আলোকের ক্ষেত্রেও সমবর্তনতলের এই সংজ্ঞা প্রযোজ্য। সুতরাং বলা যায় তড়িৎ-ভেক্টরের কম্পনতলের সঙ্গে লম্বতলই হচ্ছে কোনও সমবর্তিত আলোকের সমবর্তন তল। যেমন পূর্বের চিত্রে O-রশ্মির সমবর্তনতল হচ্ছে মৌলিক ছেদ কিন্তু E-রশ্মির সমবর্তন তল মৌলিক ছেদের সঙ্গে লম্ব। কম্পন তলকেই সমবর্তন তল হিসাবে নির্দেশ করলে হয়তো কাজের সুবিধা হ'ত। কিন্তু বহুদিনের প্রচলিত রীতির আর পরিবর্তন করা হয়নি। অবশ্য তড়িৎ-চৌম্বক তত্ত্ব অনুসারে **চৌম্বক ভেক্টরের কম্পন তলকেই সমবর্তন তল বলা যেতে পারে।**

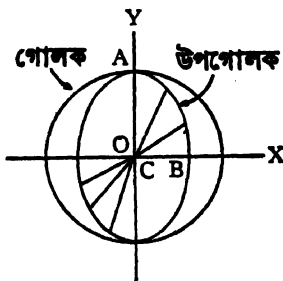
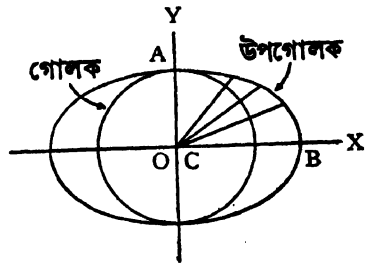
৩.৩ দ্বৈত প্রতিসরণ সম্বন্ধে হাইগেন্‌স্‌-এর তত্ত্ব, একাক্ষিক কেলাসের ক্ষেত্রে :

হাইগেন্‌স্‌ তরঙ্গতলের (wave surface) সাহায্যে সাধারণ প্রতিসরণের ব্যাখ্যা করেছেন। এই তত্ত্ব অনুসারে কোনও তরঙ্গমুখ (wave front) CA যদি একটি সাধারণ প্রতিসারক মাধ্যমের (যেমন

চিত্র ৪০

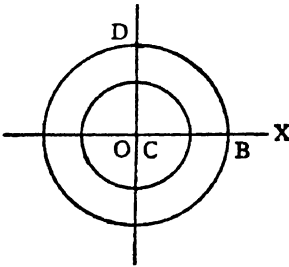
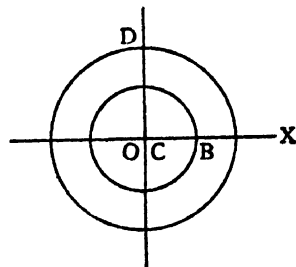
কাচের) উপর আপতিত হয় তাহ'লে মাধ্যমের উপরিস্থিত কোনও C-বিন্দু থেকে গৌণ আলোক তরঙ্গ (Secondary waves) প্রতিসারক মাধ্যমে গোলকাকারে অগ্রসর হবে। যদি ঐ মাধ্যমে আলোকের বেগ v হয়, তবে সামান্য সময় t সেকেণ্ড পরে C থেকে নির্গত আলোক তরঙ্গ vt ব্যাসার্ধ-বিশিষ্ট অর্ধগোলকের উপরিতলে অবস্থিত হবে। চিত্রে অঙ্কিত অর্ধবৃত্তটি কাগজের উপর সেই অর্ধগোলকের ছেদিত তল বা ছেদ। এই t সময়ে ধরা যাক A বিন্দু থেকে আলোক তরঙ্গ P বিন্দুতে উভয় মাধ্যমের বিভেদতলের উপর এসে পড়ে। এখন P থেকে ঐ অর্ধগোলকের উপর স্পর্শকতল PO অঙ্কন করলে PO তলই হবে t সেকেণ্ড পরে দ্বিতীয় মাধ্যমের মধ্যে প্রতিসৃত তরঙ্গতল।

দ্বৈত প্রতিসারক কোনও মাধ্যমের কোনও বিন্দু থেকে আলোক তরঙ্গ নির্গত হতে থাকলে হাইগেন্‌সের তত্ত্ব অনুসারে ঐ বিন্দুকে কেন্দ্র করে আলোক তরঙ্গ একটি গোলক এবং একটি উপগোলকের (spheroid) আকারে ছড়িয়ে পড়বে। গোলক ও উপগোলক মাধ্যমের আলোক অক্ষ বরাবর দুদিকে পরস্পর স্পর্শ করবে। চিত্রে এই ধরনের একটি অঙ্কন প্রদর্শিত হয়েছে। CX এখানে আলোক-অক্ষ। মাধ্যমের উপর অপর প্রান্তের

আপতন বিন্দু P থেকে গোলক ও উপগোলকের উপর দুটি স্পর্শক তল আঁকলে তারা দুটি প্রতিসৃত তরঙ্গমুখকে সর্বদা নির্দেশ করবে। চিত্রে PO এবং PE এই দুটি তরঙ্গমুখের ছেদ। প্রথম রশ্মির আপতন বিন্দু C থেকে দুটি স্পর্শকতলের স্পর্শবিন্দু যোগ করলে দুটি রশ্মি পাওয়া যাবে। গোলক-তলের স্পর্শকের উপর লম্ব CO হবে O-রশ্মি এবং উপগোলকতলের স্পর্শকের উপর স্পর্শবিন্দু E-এর সঙ্গে C বিন্দু যোগ করলে E-রশ্মি CE পাওয়া যাবে। মনে রাখতে হবে E-রশ্মি সর্বদা আপতন তলে নাও থাকতে পারে।

দ্বৈত প্রতিসারক মাধ্যমগুলিকে তাদের প্রকৃতি অনুসারে দুটি শ্রেণীতে ভাগ করা যায়। এক শ্রেণীর মাধ্যমে গোলকটি উপগোলকের বাইরে থাকে (চিত্র ৪১)। এজাতীয় কেলাসকে পজিটিভ কেলাস বলে। এক্ষেত্রে উপগোলকটি (spheroid) উৎপন্ন হয় উপবৃত্তের পরাক্ষের (major axis) উপর আবর্তনের দ্বারা। একে বলা হয় ডিম্বাকৃতি উপগোলক (prolate spheroid)। দ্বিতীয় শ্রেণীর মাধ্যমে গোলকটি উপগোলকের মধ্যে থাকে (চিত্র ৪২)। এক্ষেত্রে উপগোলকটি উৎপন্ন হয় উপবৃত্তের উপাক্ষের (minor axis) উপর আবর্তনের দ্বারা। একে বলা হয় কমলালেবু আকৃতির উপগোলক (oblate spheroid)। দ্বিতীয় শ্রেণীর কেলাসকে বলা হয় নেগেটিভ কেলাস। উভয় ক্ষেত্রেই গোলক ও উপগোলক কেলাসের আলোক অক্ষ OY বরাবর পরস্পরকে স্পর্শ করে। একাক্ষিক কেলাসে তরঙ্গতলের গাণিতিক আলোচনা পরের অধ্যায়ে করা হয়েছে।

চিত্র ৪১
পজিটিভ কেলাস

চিত্র ৪২
নেগেটিভ কেলাস

এখন গৌণ উৎস (seconday source) C থেকে তরঙ্গ মুখের উপর তরঙ্গাভিলম্ব (wave normals) অঙ্কন করলে তার দৈর্ঘ্য থেকে t সময়ে

তরঙ্গ দ্বারা অতিক্রান্ত দূরত্ব পাওয়া যায়। সাধারণ বা O-তরঙ্গের ক্ষেত্রে তরঙ্গ গোলকাকারে অগ্রসর হয়, সুতরাং যে কোনও দিকে এই তরঙ্গাভিলম্বের দৈর্ঘ্য সমান। অতএব O-তরঙ্গ সমস্ত দিকে সমান বেগে অগ্রসর হয়। কিন্তু ব্যতিক্রান্ত বা E-তরঙ্গের তরঙ্গমুখ উপগোলকাকার, সুতরাং তরঙ্গাভিলম্বের দৈর্ঘ্য অভিমুখ অনুসারে পরিবর্তিত হবে। যদি আলোক অক্ষ OY-এর ভিতর দিয়ে দুটি তরঙ্গমুখের প্রস্থচ্ছেদ নেওয়া হয়, তাহ'লে তাদের আকার বৃত্ত ও উপবৃত্তাকার হবে। ৪১ এবং ৪২ চিত্রে এই বৈশিষ্ট্য দেখানো হয়েছে। এক্ষেত্রে E-তরঙ্গের বেগ রশ্মির অভিমুখের সঙ্গে পরিবর্তিত হচ্ছে। আলোক অক্ষের দিকে (চিত্রে CY-র দিকে) দুটি তরঙ্গ তল পরস্পরকে স্পর্শ করে। সুতরাং ঐদিকে উভয় তরঙ্গের বেগ সমান। আলোক অক্ষের সঙ্গে সমকোণে অর্থাৎ চিত্রানুযায়ী CX বরাবর উভয় তরঙ্গের বেগের ব্যবধান চরম। ব্যতিক্রান্ত তরঙ্গের ক্ষেত্রে এই বেগ CB-র সমানুপাতিক। সুতরাং পজিটিভ কেলাসে ইহা ন্যূনতম কিন্তু নেগেটিভ কেলাসে বৃহত্তম। আলোক অক্ষের সঙ্গে লম্বভাবে কেন্দ্র C-গামী প্রস্থচ্ছেদ নিলে উভয়ই C-কেন্দ্রবিশিষ্ট বৃত্ত হয় (চিত্র ৪৩ এবং ৪৪)। এক্ষেত্রে O-তরঙ্গ এবং E-তরঙ্গ উভয়ের

চিত্র ৪৩
পজিটিভ কেলাস:
E-তরঙ্গমুখের ছেদ অন্তঃস্থ বৃত্ত।

চিত্র ৪৪
নেগেটিভ কেলাস:
E-তরঙ্গমুখের ছেদ বহিঃস্থ বৃত্ত।

বেগের মধ্যে চরম পার্থক্য কিন্তু E-তরঙ্গের বেগও সমস্তদিকে সমমানবিশিষ্ট। ৪৩ এবং ৪৪-তম চিত্রে যথাক্রমে পজিটিভ ও নেগেটিভ কেলাসের এই বৈশিষ্ট্য দেখানো হয়েছে।

সাধারণ ও ব্যতিক্রান্ত প্রতিসরাঙ্ক (Ordinary and Extraordinary Refractive Indices): আমরা জানি আলোকের

তরঙ্গতত্ত্ব অনুসারে কোনও মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক $\mu = \frac{V}{V'}$, যখন V ও V′ যথাক্রমে শূন্যস্থানে এবং আলোচ্য মাধ্যমে আলোকতরঙ্গের বেগ। দ্বৈত প্রতিসারক মাধ্যমের মধ্যে সাধারণ বা O-তরঙ্গের ক্ষেত্রে সকলদিকে তরঙ্গবেগ সমান। O-তরঙ্গের বেগকে V_o দ্বারা সূচিত করলে $\frac{V}{V_o}$ অনুপাতটি ধ্রুবক। এই অনুপাতকে আলোচ্য মাধ্যমের সাধারণ প্রতিসরাঙ্ক μ_o বলা হয়। কিন্তু ব্যতিক্রান্ত বা E-তরঙ্গের ক্ষেত্রে বিভিন্ন দিকে তরঙ্গবেগ বিভিন্ন, সুতরাং শূন্যস্থানে আলোকের বেগ ও মাধ্যমের মধ্যে ব্যতিক্রান্ত তরঙ্গবেগের অনুপাত দ্বারা ব্যতিক্রান্ত প্রতিসরাঙ্ক অভিধেয় কোনও সংজ্ঞা নির্দেশ করা অর্থহীন। এইজন্য একটি নির্দিষ্ট দিকে ব্যতিক্রান্ত তরঙ্গবেগের সাহায্যে ব্যতিক্রান্ত প্রতিসরাঙ্কের সংজ্ঞা নির্দেশ করা হয়। এই দিকটি হচ্ছে আলোক অক্ষের সঙ্গে লম্ব দিক। পূর্বে বলা হয়েছে, এইদিকে ব্যতিক্রান্ত ও সাধারণ তরঙ্গ-বেগের ব্যবধান চরম হয়। এই বেগকে V_e দ্বারা সূচিত করলে আলোচ্য মাধ্যমের ব্যতিক্রান্ত প্রতিসরাঙ্ক $\mu_e = \frac{V}{V_e}$.

পূর্বের ৪১ ও ৪২তম চিত্রগুলিতে যদি ধরা যায় t সেকেণ্ড সময়ে আলোক C কেন্দ্র থেকে বিভিন্ন তরঙ্গতলগুলিতে পৌঁছায়, তাহলে বলা যায়, প্রত্যেক চিত্রে,

$$\mu_o = \frac{V}{V_o} = \frac{Vt}{V_o t} = \frac{Vt}{CA}$$

এবং $$\mu_e = \frac{V}{V_e} = \frac{V.t}{V_e.t} = \frac{V.t}{CB}.$$

সুতরাং $$\frac{\mu_o}{\mu_e} = \frac{CB}{CA}$$

দেখা যাচ্ছে, পজিটিভ কেলাসের ক্ষেত্রে $CA > CB$, সুতরাং

$$\frac{\mu_o}{\mu_e} = \frac{CB}{CA} < 1, \quad \text{অর্থাৎ } \mu_o < \mu_e.$$

কিন্তু নেগেটিভ কেলাসের ক্ষেত্রে $CA < CB$, সুতরাং $\mu_o > \mu_e$.

কোয়ার্জ, বরফ প্রভৃতি পজিটিভ কেলাস। ক্যালসাইট, টুরমালিন প্রভৃতি নেগেটিভ কেলাস।

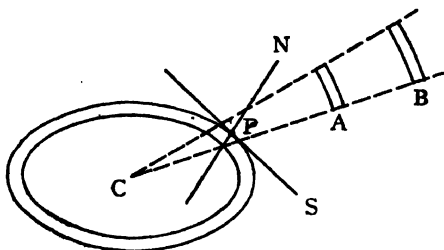
পজিটিভ ও নেগেটিভ কেলাসের তুলনা

পজিটিভ কেলাস	নেগেটিভ কেলাস
১। উদাহরণ : কোয়ার্জ, বরফ।	১। উদাহরণ : ক্যালসাইট, টুরমালিন।
২। আলোক-অক্ষ বরাবর তরঙ্গতল দুটির ছেদিত-তল ৪১-তম চিত্রের অনুরূপ।	২। আলোক-অক্ষ বরাবর তরঙ্গতল দুটির ছেদিত-তল ৪২-তম চিত্রের অনুরূপ।
৩। দুটি প্রতিসরাঙ্কের অনুপাত : $\frac{\mu_o}{\mu_e}=\frac{CB}{CA}<1\,;\ \therefore \mu_o<\mu_e$	৩। দুটি প্রতিসরাঙ্কের অনুপাত : $\frac{\mu_o}{\mu_e}=\frac{CB}{CA}>1\,;\ \therefore \mu_o>\mu_e$
৪। সোডিয়ামের বর্ণালির D-লাইনের ক্ষেত্রে μ_o এবং μ_e-এর মান :	৪। সোডিয়ামের বর্ণালির D-লাইনের ক্ষেত্রে μ_o এবং μ_e-এর মান :

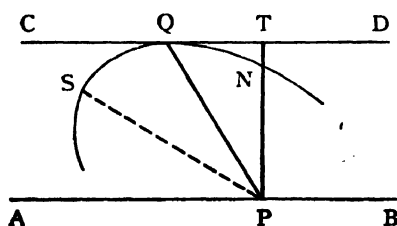
	μ_o	μ_e		μ_o	μ_e
কোয়ার্জ (SiO_2) :	1·544	1·553	ক্যালসাইট :	1·658	1·486
বরফ :	1·309	1·313	টুরমালিন :	1·669	1·638

উপরের তালিকায় ক্যালসাইট কেলাসের μ_o এবং μ_e-র মানের ব্যবধান বিশেষভাবে লক্ষণীয়। অন্য যে উদাহরণগুলি দেওয়া হয়েছে তাদের কারো ক্ষেত্রেই μ_o এবং μ_e-র মানের পার্থক্য এত বেশী নয়। সুতরাং দেখা যাচ্ছে দ্বৈত প্রতিসারক মাধ্যমগুলির মধ্যে ক্যালসাইটের দ্বৈত প্রতিসরণ ধর্ম বিশেষভাবে প্রবল। এইজন্য দ্বৈত প্রতিসারক হিসাবে ক্যালসাইটের এত প্রাধান্য। ক্যালসাইট দ্বারা প্রস্তুত নিকল প্রিজ্‌মের আলোচনা পরে করা হবে।

দ্বৈত প্রতিসারক মাধ্যমে আলোকরশ্মির পথ : উপগোলক তরঙ্গতলের ক্ষেত্রে মনে রাখা প্রয়োজন আলোকরশ্মির দিক সর্বক্ষেত্রে তরঙ্গতলের সঙ্গে লম্ব হয় না। দুটি চিত্র অনুধাবন করলে বিষয়টি বুঝতে পারা যাবে। মনে করা যাক, কোনও দ্বৈত প্রতিসারক মাধ্যমের C বিন্দু থেকে ব্যতিক্রান্ত তরঙ্গ উপগোলকাকারে নির্গত হচ্ছে। সামান্য সময়ের ব্যবধানে দুটি তরঙ্গতল কল্পনা করা যাক। তারা একটি উপগোলকীয় মণ্ডল (spheroidal shell) গঠন করবে। কোনও মুহূর্তে মণ্ডলটির ছেদ ৪৫-তম চিত্রে দুটি পাশাপাশি উপগোলক দ্বারা দেখানো হয়েছে। ঐ মণ্ডলের P বিন্দুর কাছে যদি একটি স্লিট (slit) S রাখা হয় তাহ'লে স্লিটের ভিতর দিয়ে আলোক কোন্ দিকে

যাবে? PN হচ্ছে P বিন্দুতে তরঙ্গতলের অভিলম্ব। কিন্তু A এবং B হচ্ছে বিভিন্ন সময়ে মণ্ডলটির অবস্থান। দেখা যাচ্ছে তরঙ্গাভিলম্ব (wave normal) PN বরাবর আলোক সঞ্চালিত হচ্ছে না, PN-এর সঙ্গে তির্যকভাবে অগ্রসর হচ্ছে। যেদিকে আলোকশক্তি অগ্রসর হবে রশ্মির

চিত্র ৪৫

দিকও তাই। সুতরাং এক্ষেত্রে রশ্মির দিক তরঙ্গতলের অভিলম্বের দিকে নয়। অবশ্য কেবল উপগোলকের দুটি অক্ষের প্রান্তদেশে ব্যাসার্ধ-ভেক্টরগুলি উপগোলক তলের লম্ব এবং এই দিকগুলিতেই আলোকরশ্মি ও তরঙ্গতলের অভিলম্ব অভিন্ন।

আলোকশক্তির সঞ্চালন সম্বন্ধে ফারমার নিয়ম (Fermat's principle) অনুসরণ করেই এক্ষেত্রে আলোকরশ্মির পথ নির্দিষ্ট হয়। ধরা যাক, AB

চিত্র ৪৬

একটি তরঙ্গমুখ (wavefront) এবং P তার একটি বিন্দু। হাইগেন্সের নিয়ম অনুসারে গৌণ উৎস হিসাবে P বিন্দু থেকে তরঙ্গ নির্গত হবে। সামান্য সময় অন্তে ব্যতিক্রান্ত তরঙ্গতলটিকে SQN বক্ররেখা দ্বারা সূচিত করা হয়েছে। CQD হচ্ছে অনুরূপ সমস্ত তরঙ্গতলের সাধারণ স্পর্শকতল। সুতরাং CQD নূতন ব্যতিক্রান্ত তরঙ্গমুখের অবস্থান। তরঙ্গতল SQN-কে

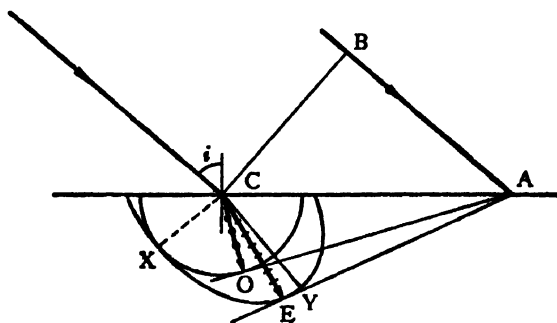
এই তরঙ্গমুখ Q বিন্দুতে স্পর্শ করছে। সুতরাং PQ রেখা P বিন্দু থেকে নির্গত ব্যতিক্রান্ত রশ্মির পথ নির্দেশ করবে। দেখা যাচ্ছে ব্যতিক্রান্ত রশ্মি এক্ষেত্রে তরঙ্গতল বা তরঙ্গমুখ কারও সঙ্গে লম্ব নয়। তরঙ্গমুখের সঙ্গে লম্বরেখা PT তরঙ্গতলকে N বিন্দুতে ছেদ করেছে। PQ ও PN দূরত্ব দুটির আলোকীয় বা তুল্যাঙ্ক পথ (optical or equivalent path) সমান। সুতরাং $PQ \equiv PN < PT$ এবং ফারমার নিয়ম থেকে আমরা জানি আলোকরশ্মি এইরকম ক্ষেত্রে ন্যূনতম পথ অনুসরণ করে চলে। সুতরাং PQ-ই হচ্ছে রশ্মির পথ, PT নয়।

৩·৪ বিভিন্ন ক্ষেত্রে হাইগেন্‌সের অঙ্কন :

সমসত্ত্ব মাধ্যমে হাইগেন্‌সের অঙ্কনের পদ্ধতির অনুরূপ পদ্ধতিতে দ্বৈত প্রতিসারক মাধ্যমেও সাধারণ ও ব্যতিক্রান্ত তরঙ্গতল এবং সাধারণ ও ব্যতিক্রান্ত রশ্মি অঙ্কন করা যায়। রশ্মির আপতন তল, আলোক অক্ষ ও মৌলিক ছেদের অবস্থান প্রভৃতির উপর এই অঙ্কন নির্ভর করে। আবার পজিটিভ ও নেগেটিভ কেলাস অনুসারে এই অঙ্কন বিভিন্ন হয়। এখানে এইরকম কয়েকটি ক্ষেত্রের অঙ্কন দেখানো হল। এইসমস্ত অঙ্কন থেকে দ্বৈত প্রতিসারক মাধ্যমে বিভিন্ন ক্ষেত্রে সাধারণ ও ব্যতিক্রান্ত রশ্মি কর্তৃক অনুসৃত পথ জানতে পারা যাবে।

নেগেটিভ কেলাসের ক্ষেত্রে অঙ্কন

প্রথম উদাহরণ : এই উদাহরণটি পূর্বের ৩·৩ অনুচ্ছেদের অনুরূপ

চিত্র ৪৭

হলেও এখানে অঙ্কনের পদ্ধতি আলোচিত হয়েছে। ধরা যাক, আলোক-অক্ষ আপতন তলে কিন্তু অভিলম্বের সঙ্গে কোনও কোণে আনতভাবে অবস্থিত।

এখানে CB হচ্ছে আপতিত সমতল তরঙ্গমুখের ছেদ। CA বায়ু (অথবা শূন্যস্থান) এবং দ্বৈত প্রতিসারক মাধ্যমের বিভেদতলকে নির্দেশ করছে। CX রেখাটি আলোক-অক্ষের দিক। C বিন্দু থেকে কেলাসের মধ্যে দ্বৈত প্রতিসরণের নিয়ম অনুসরণ করে আলোকতরঙ্গ অগ্রসর হবে। ধরা যাক, বায়ুতে তরঙ্গমুখের অপর প্রান্ত B থেকে BA পথ অতিক্রম করে A বিন্দুতে আপতিত হতে আলোকরশ্মির t সেকেণ্ড সময় লাগে। এই t সেকেণ্ড পরে দ্বৈত প্রতিসারক মাধ্যমের মধ্যে সাধারণ ও ব্যতিক্রান্ত তরঙ্গতলের অবস্থান নির্ণয় করতে হবে।

ধরা যাক, কেলাসের মধ্যে সাধারণ ও ব্যতিক্রান্ত তরঙ্গের বেগ যথাক্রমে v_0 এবং v_e। এখানে v_e দ্বারা আলোক-অক্ষের সমকোণে ব্যতিক্রান্ত তরঙ্গের বেগ বুঝতে হবে। এখন C বিন্দুকে কেন্দ্র করে $v_0.t$ ব্যাসার্ধ নিয়ে কেলাসের মধ্যে একটি অর্ধগোলক এবং যথাক্রমে v_0t ও v_et অর্ধ-উপাক্ষ (semi-minor axis) ও অর্ধ-পরাক্ষ (semi-major axis) বিশিষ্ট একটি উপগোলক কল্পনা করতে হবে। গোলক ও উপগোলক পরস্পর আলোক-অক্ষ CX বরাবর স্পর্শ করবে। চিত্রের তলে গোলক ও উপগোলকের ছেদ যথাক্রমে একটি অর্ধবৃত্ত এবং একটি উপবৃত্তাংশ হবে। এই গোলক ও উপগোলক t সেকেণ্ড পরে মাধ্যমের মধ্যে যথাক্রমে সাধারণ ও ব্যতিক্রান্ত তরঙ্গতলের অবস্থান নির্দেশ করবে। A বিন্দু থেকে উভয় তরঙ্গতলের উপর স্পর্শকতল AO এবং AE আঁকা হ'ল। তারা t সেকেণ্ড পরে যথাক্রমে সাধারণ ও ব্যতিক্রান্ত তরঙ্গমুখের অবস্থান নির্দেশ করবে। কারণ CA-এর উপর বিভিন্ন বিন্দুতে আলোকতরঙ্গ এসে পড়লে ঐসকল বিন্দু গৌণ উৎসের কাজ করবে এবং ঐসকল বিন্দু থেকে পূর্বের অনুরূপ গোলক ও উপগোলক অঙ্কন করলে তাদের সকলের সাধারণ স্পর্শকতলও AO এবং AE দ্বারা নির্দেশিত হবে। C বিন্দু থেকে স্পর্শবিন্দুদ্বয়ের সংযোগকারী CO এবং CE রেখাদ্বয় যথাক্রমে সাধারণ ও ব্যতিক্রান্ত রশ্মির দিক নির্দেশ করবে। পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণিত হয়েছে সাধারণ তরঙ্গের কম্পন মৌলিক ছেদের সঙ্গে সমকোণে এবং ব্যতিক্রান্ত তরঙ্গের কম্পনের দিক মৌলিক ছেদের সমতলে হয়। সাধারণ ও ব্যতিক্রান্ত রশ্মিদ্বয়ের মূলতল ও মৌলিক ছেদ একই তল হ'লে যে অবস্থা হয় চিত্রে তাই দেখানো হয়েছে। সেক্ষেত্রে রশ্মি দুটি আপতন তলে অবস্থিত হয় এবং সাধারণ তরঙ্গের কম্পনকে ডট্-চিহ্ন (dots) দ্বারা ও ব্যতিক্রান্ত তরঙ্গের কম্পনকে ড্যাশ (dashes) দ্বারা চিহ্নিত করা যায়।

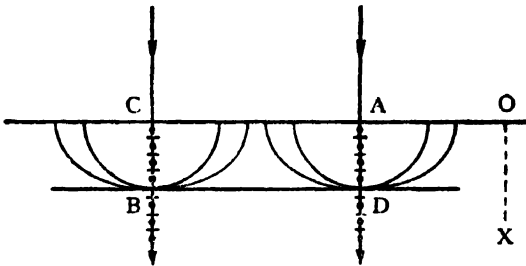
সাধারণ রশ্মির ও তরঙ্গের ক্ষেত্রে μ_o-এর মান $\frac{\sin i}{\sin r_o}$ অথবা $\frac{V}{V_o}$ অনুপাত থেকে সর্বদা পাওয়া যাবে। কিন্তু ব্যতিক্রান্ত রশ্মির ক্ষেত্রে যেহেতু V_e দ্বারা আলোক-অক্ষের সমকোণে তরঙ্গের বেগকে বুঝায় সেই কারণে $\frac{\sin i}{\sin r_e}$ দ্বারা μ_e-র মান পাওয়া যাবে না। আবার আলোক-অক্ষ যদি আপতন তলে অবস্থিত না হয়, অর্থাৎ যদি আপতন তল একটি মৌলিক ছেদ না হয় তাহ'লে সাধারণত স্পর্শকতল ব্যতিক্রান্ত তরঙ্গতলকে আপতন তলে ছেদ করে না, সুতরাং ব্যতিক্রান্ত রশ্মিও আপতন তলে অবস্থিত হয় না।

উপগোলকের অক্ষদুটির দৈর্ঘ্য নিম্নলিখিত গণনা থেকেও পাওয়া যায়:

উপাক্ষ, $CX = V_o.t = V_o \cdot \frac{BA}{V} = \frac{BA}{V/V_o} = \frac{BA}{\mu_o}$

যখন, V = শূন্যস্থানে আলোকের বেগ।

এবং পরাক্ষ, $CY = V_e.t = V_e \cdot \frac{BA}{V} = \frac{BA}{V/V_e} = \frac{BA}{\mu_e}$

দ্বিতীয় উদাহরণ: আলোক-অক্ষ আপতন তলে কিন্তু বিভেদতলের

চিত্র ৪৮

সঙ্গে লম্বভাবে অবস্থিত। এই ক্ষেত্রের আবার দুটি বিশেষ ক্ষেত্র হ'তে পারে; যথা:

১। আপতিত রশ্মি প্রতিসারক তলের সঙ্গে লম্ব। চিত্রে OX আলোক-অক্ষের দিক নির্দেশ করছে। এক্ষেত্রে প্রতিসৃত উভয় আলোকরশ্মির অভিমুখ আলোক-অক্ষের দিকে হওয়ায় উভয় রশ্মিই একই দিকে এবং সমবেগে দ্বৈত প্রতিসারক মাধ্যমের মধ্যে অগ্রসর হয়। অর্থাৎ প্রকৃতপক্ষে

এক্ষেত্রে কোনও দ্বৈত প্রতিসরণ হয় না। দুটি স্পর্শকতল এখানে সমাপতিত হয়। BD এই স্পর্শকতলকে সূচিত করছে।

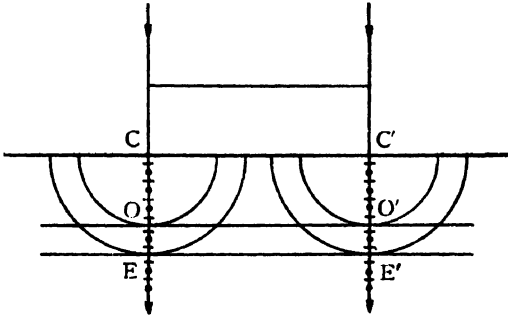
২। দ্বিতীয় বিশেষ ক্ষেত্রে আলোক-অক্ষ প্রতিসারক তলের সঙ্গে লম্ব কিন্তু আলোকরশ্মি প্রতিসারক তলের সঙ্গে লম্বভাবে অবস্থিত নয়। এক্ষেত্রে

চিত্র ৪৯

দুটি স্পর্শকতল সমাপতিত হয় না এবং সাধারণ ও ব্যতিক্রান্ত প্রতিসৃত রশ্মি দুটি বিভিন্ন পথ অনুসরণ করে। চিত্রে XX′ দ্বারা আলোক-অক্ষের দিক নির্দেশিত হয়েছে। CO এবং CE যথাক্রমে O-রশ্মি ও E-রশ্মিকে নির্দেশ করছে। আপতন তল একটি মৌলিক ছেদ হওয়ায় উভয় রশ্মির কম্পন পূর্বের মতো ডট্ ও ড্যাশ দ্বারা সূচিত করা যায়। অবশ্য E-রশ্মির দিক এই ক্ষেত্রে কখনও আলোক-অক্ষের সমকোণে না হওয়ায় $\frac{\sin i}{\sin r_e}$ অনুপাতকে μ_e বলা যায় না।

তৃতীয় উদাহরণ : (ক) এই উদাহরণে আলোক-অক্ষকে বিভেদ তলের সঙ্গে সমান্তরাল কিন্তু আপতন তলের সঙ্গে লম্ব ধরা হ'য়েছে। এখানে

চিত্র ৫০

আলোক-অক্ষ চিত্রের তলের সঙ্গে লম্ব, সুতরাং C বিন্দুগামী এবং চিত্রের তলের সঙ্গে লম্ব আলোক-অক্ষের উভয়প্রান্তে গোলক ও উপগোলক পরস্পরকে স্পর্শ করবে। কাগজের তলে উভয় তরঙ্গতলের প্রস্থচ্ছেদই C-কেন্দ্রবিশিষ্ট সমকেন্দ্রিক বৃত্ত হবে। A বিন্দু থেকে স্পর্শকতল আঁকলে তা কাগজের

চিত্র ৫১

তলে অর্থাৎ আপতন তলে উভয় তরঙ্গতলকে স্পর্শ করবে। AO এবং AE রেখা হচ্ছে যথাক্রমে সাধারণ ও ব্যতিক্রান্ত স্পর্শকতলের ছেদ ; CO এবং CE যথাক্রমে O-রশ্মি এবং E-রশ্মি। আলোকরশ্মি যে কোনও কোণে আপতিত হোক, প্রতিসৃত E-রশ্মিও সর্বদা আপতন তলে থাকবে এবং E-রশ্মি E-তরঙ্গতলের সঙ্গে লম্ব হবে। E-তরঙ্গের গতি এক্ষেত্রে সর্বদা আলোক-অক্ষের সঙ্গে সমকোণে অবস্থিত, অতএব $\sin i/\sin r_e$ অনুপাত সর্বদা μ_e-র মান নির্দেশ করবে।

(খ) এই উদাহরণের একটি বিশেষ ক্ষেত্র হতে পারে যখন আলোক-অক্ষ আপতন তলের সঙ্গে লম্ব এবং বিভেদ তলের সমান্তরাল এবং আপতন কোণ সমকোণ। এখানে আপতিত তরঙ্গমুখ CC′ (চিত্র ৫১) বিভেদ তলের সমান্তরাল। এক্ষেত্রে O- এবং E-তরঙ্গ উভয়ের ছেদই বৃত্ত হবে এবং O-রশ্মি ও E-রশ্মি বিভেদ তলের সঙ্গে লম্বভাবে একই দিকে অগ্রসর হবে। অবশ্য তাদের বেগ যথাক্রমে V_o ও V_e হবে। প্রতিসৃত তরঙ্গতল দুটিও প্রতিসারক তলের সঙ্গে সমান্তরালভাবে যথাক্রমে V_o ও V_e বেগে অগ্রসর হবে।

উপরে আলোচিত (ক) ও (খ) উভয় ক্ষেত্রেই আলোক-অক্ষ চিত্রের তলের

সঙ্গে লম্ব। (ক)-এর ক্ষেত্রে O-রশ্মির মূলতল CO রেখা এবং C বিন্দুগামী কাগজের সঙ্গে লম্ব-রেখা দ্বারা নির্দিষ্ট তলে অবস্থিত। কিন্তু আমরা জানি O-রশ্মি বাহিত আলোকের কম্পন O-রশ্মির মূলতলের সঙ্গে লম্ব। সুতরাং এই কম্পনকে রশ্মির সঙ্গে লম্ব ড্যাশের দ্বারা সূচিত করা হয়েছে। আবার E-রশ্মির মূলতল E-রশ্মি অর্থাৎ CE-রেখা এবং C বিন্দুগামী আলোক-অক্ষের দ্বারা নির্দিষ্ট হয়েছে। কিন্তু E-রশ্মিবাহিত আলোকের কম্পন E-রশ্মির মূলতলের সঙ্গে সমান্তরাল। সুতরাং ঐ কম্পনগুলিকে CE রেখার উপর ডট্-চিহ্ন দ্বারা সূচিত করা হয়েছে।

চতুর্থ উদাহরণ ঃ আলোক-অক্ষ এখানে প্রতিসারক তল ও আপতন তল উভয়ের সঙ্গে সমান্তরাল। চিত্রে XX′ আলোক-অক্ষের অবস্থান নির্দেশ করছে। এক্ষেত্রে O-তরঙ্গ এবং E-তরঙ্গের ছেদ যথাক্রমে অর্ধবৃত্ত ও অর্ধ-উপবৃত্ত হবে এবং তারা XX′ বরাবর পরস্পরকে স্পর্শ করবে। দুটি প্রতিসৃত রশ্মিই

চিত্র ৫২

এখানে C বিন্দুগামী অভিলম্বের সঙ্গে বৃত্ত ও উপবৃত্তের ছেদবিন্দুদ্বয় হচ্ছে যথাক্রমে Y ও Y′ বিন্দু।

এখানে আপতন তলে অবস্থিত হবে। AO এবং AE যথাক্রমে সাধারণ ও ব্যতিক্রান্ত তরঙ্গতলের ছেদ এবং CO ও CE যথাক্রমে O-রশ্মি ও E-রশ্মিকে নির্দেশ করছে।

এখন কোনও বৃত্ত ও উপবৃত্ত দুটি বিন্দুতে স্পর্শ করলে স্পর্শক-জ্যা-এর কোনও বিন্দুর মেরুরেখা (polar) একটিই হবে এবং তা জ্যা-এর উপর লম্ব হবে। সুতরাং এক্ষেত্রে বর্ধিত EO হবে XX′-এর লম্ব।

আবার $\frac{NE}{NO} :: \frac{CY'}{CY} :: \frac{V_e}{V_o} = \frac{\mu_o}{\mu_e}$

কিন্তু $\frac{NE}{NO} = \frac{CN/NO}{CN/NE} = \frac{\tan r_o}{\tan r_e}$;

সুতরাং $\frac{\tan r_o}{\tan r_e} = \frac{\mu_o}{\mu_e}$.

পজিটিভ কেলাসের ক্ষেত্রে অঙ্কন

পজিটিভ কেলাসের একটিমাত্র ক্ষেত্র আলোচিত হল, কারণ পজিটিভ কেলাসের ব্যবহার কম। এক্ষেত্রে আলোক-অক্ষ আপতন তলে CX

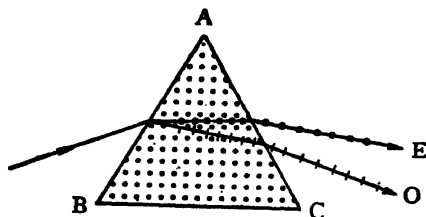
চিত্র ৫৩
পজিটিভ কেলাস।

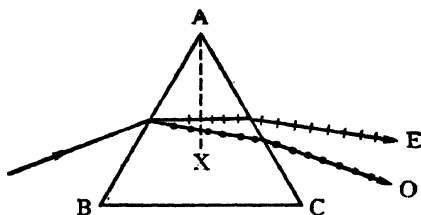
বরাবর অবস্থিত। O-তরঙ্গতলের ছেদ-নির্দেশক বৃত্তটি E-তরঙ্গতলের ছেদ-নির্দেশক উপবৃত্তকে বহিঃস্থভাবে CX-এর দুই প্রান্তে স্পর্শ করবে। AO এবং AE দুটি প্রতিসৃত তরঙ্গমুখের ছেদ। CO এবং CE যথাক্রমে O-রশ্মি ও E-রশ্মি।

৩.৫ ব্যতিক্রান্ত প্রতিসরাঙ্ক (μ_e) নির্ণয়:

আমরা দেখেছি দ্বৈত প্রতিসারক মাধ্যমের মধ্যে ব্যতিক্রান্ত রশ্মি যখন আলোক-অক্ষের সঙ্গে ঠিক লম্বভাবে অগ্রসর হয়, তখনই $\sin i/\sin r_e$ অনুপাতের মান ঐ মাধ্যমের ব্যতিক্রান্ত প্রতিসরাঙ্ক μ_e হয়। অবশ্য μ_e এবং μ_o-র মান আলোকের তরঙ্গদৈর্ঘ্যের উপরও নির্ভর করে।

বিশেষভাবে কাটা দ্বৈত প্রতিসারক প্রিজ্‌মের সাহায্যে μ_e-র মান নির্ণয় করা যায়। দ্বৈত প্রতিসারক কেলাস থেকে প্রিজ্‌মটিকে এমনভাবে কেটে

তৈয়ারী করতে হবে যে তার আলোক-অক্ষ যেন প্রিজ্‌মৃটির প্রতিসারক প্রান্তের সঙ্গে সমান্তরাল অথবা প্রিজ্‌মৃটির মৌলিক ছেদের শিরঃকোণের দ্বিখণ্ডক হয়। প্রিজ্‌মের প্রতিসারক প্রান্ত তার শীর্ষ A বিন্দুগামী এবং

চিত্র ৫৪
ডট্‌-চিহ্ন দ্বারা নির্দেশিত আলোক-অক্ষ প্রতিসারক প্রান্তের সমান্তরাল।

কাগজের তলের সঙ্গে লম্ব সরলরেখা। চিত্র ৫৪-তে আলোক-অক্ষ প্রতিসারক প্রান্তের সমান্তরাল। সুতরাং কাগজের তলের সঙ্গে লম্ব।

চিত্র ৫৫
আলোক-অক্ষ AX এখানে ∠BAC-এর দ্বিখণ্ডক।

ডট্‌গুলি আলোক-অক্ষের দিক নির্দেশ করছে। এক্ষেত্রে প্রিজ্‌মের ভিতর দিয়ে প্রতিসৃত O- এবং E-রশ্মি উভয়েই আলোক-অক্ষের সঙ্গে লম্বভাবে অগ্রসর হয়। সুতরাং E-রশ্মির ক্ষেত্রে μ_e-র সংজ্ঞা প্রযোজ্য হয়। দ্বিতীয় পদ্ধতিতে আলোক-অক্ষ AX অবশ্যই প্রতিসারক প্রান্তের সঙ্গে লম্ব। ন্যূনতম চ্যুতিকোণে বিচ্যুত কোনও আলোকরশ্মি এক্ষেত্রে আলোক-অক্ষের সঙ্গে সমকোণে অবস্থিত হবে। অতএব ন্যূনতম চ্যুতিকোণে বিচ্যুত E-রশ্মির ক্ষেত্রে μ_e-র সংজ্ঞা প্রযোজ্য হবে।

এখন কোনও বর্ণালি-মাপকের (spectrometer) উৎসে এক বর্ণের আলোক ব্যবহার ক'রে এইরকম একটি প্রিজ্‌মের সাহায্যে বিচ্যুত রশ্মির চ্যুতিকোণ মাপা যেতে পারে। O-রশ্মি এবং E-রশ্মি দ্বারা গঠিত

আলোকিত স্লিটের দুটি বিম্ব পাশাপাশি দেখতে পাওয়া যাবে। প্রিজ্‌ম্‌-কে প্রয়োজনমতো ঘুরিয়ে উভয় বিম্বের প্রত্যেককে পরপর ন্যূনতম বিচ্যুতির অবস্থানে আনা হবে এবং O-রশ্মি এবং E-রশ্মির ন্যূনতম বিচ্যুতিকোণ মাপা হবে। এখন ধরা যাক O-রশ্মি এবং E-রশ্মির ন্যূনতম বিচ্যুতিকোণ যথাক্রমে $\delta_{m,o}$ এবং $\delta_{m,e}$। সুতরাং বলা যায় ঃ

$$\mu_o = \frac{\sin\frac{A+\delta_{m.o}}{2}}{\sin\frac{A}{2}} \quad \text{এবং} \quad \mu_e = \frac{\sin\frac{A+\delta_{m,e}}{2}}{\sin\frac{A}{2}}$$

যখন A হচ্ছে প্রিজ্‌ম্‌টির প্রতিসরণ কোণ।

প্রচলিত পদ্ধতিতে A নির্ণয় ক'রে এই দুই সূত্রের সাহায্যে μ_o এবং μ_e-র মান নির্ণয় করা যেতে পারে।

সারাংশ

ক্যালসাইট প্রভৃতি কতকগুলি কেলাসিত মাধ্যমের মধ্যে প্রতিসরণের ফলে আলোক সাধারণত দুটি রশ্মিতে ভাগ হয়ে যায়। একটি রশ্মি প্রতিসরণের সাধারণ নিয়ম অনুসরণ করে চলে, তাকে বলা হয় সাধারণ রশ্মি। অপরটি সর্বদা প্রতিসরণের সাধারণ নিয়ম অনুসরণ করে চলে না, তাকে বলা হয় ব্যতিক্রান্ত রশ্মি। এই ঘটনার নাম দ্বৈত প্রতিসরণ।

প্রত্যেক দ্বৈত প্রতিসারক মাধ্যমে একটি (কোনও কেলাসের ক্ষেত্রে দুটি) দিক থাকে, যে দিকে আলোকের দ্বৈত প্রতিসরণ হয় না। এই দিককে আলোচ্য কেলাসের আলোক-অক্ষ বলে। একটিমাত্র আলোক-অক্ষ-বিশিষ্ট কেলাসকে একাক্ষিক কেলাস এবং দুটি আলোক-অক্ষ-বিশিষ্ট কেলাসকে দ্বি-অক্ষীয় কেলাস বলে। আলোক-অক্ষের দিক কেলাসের জ্যামিতিক গঠনের উপর নির্ভর করে। স্বাভাবিকভাবে গঠিত কেলাসের সাম্যতা অক্ষ বা কেলাস-গাঠনিক অক্ষ আলোক-অক্ষের সমান্তরাল হয়। কোনও কেলাসের দুই বিপরীত সমান্তরাল তলের সঙ্গে লম্ব কোনও তলে যদি আলোক-অক্ষ অবস্থিত হয়, তা হলে ঐ তলকে একটি মৌলিক ছেদ বলে।

সাধারণ রশ্মি ও আলোক-অক্ষের দ্বারা নির্ধারিত তলকে সাধারণ রশ্মির মূলতল এবং ব্যতিক্রান্ত রশ্মি ও আলোক-অক্ষের দ্বারা নির্ধারিত তলকে ব্যতিক্রান্ত রশ্মির মূলতল বলে। সাধারণ ও ব্যতিক্রান্ত রশ্মির আলোক

পরস্পর লম্ব অভিমুখে সমবর্তিত হয়। আপতন তল একটি মৌলিক ছেদ হলে, ঐ তিনটি তল সমান্তরাল হয়। তখন সাধারণ রশ্মিবাহিত আলোকের কম্পন মৌলিক ছেদের সঙ্গে লম্ব কিন্তু ব্যতিক্রান্ত রশ্মিবাহিত আলোকের কম্পন মৌলিক ছেদের সঙ্গে সমান্তরাল হয়।

হাইগেন্‌সের তত্ত্ব অনুসারে দ্বৈত প্রতিসারক মাধ্যমের কোনও বিন্দু থেকে গোলক ও উপগোলকের আকারে যথাক্রমে সাধারণ ও ব্যতিক্রান্ত তরঙ্গ চারিদিকে ছড়িয়ে পড়ে। গোলক এবং উপগোলক আলোক-অক্ষ বরাবর স্পর্শ করে। সাধারণ তরঙ্গের বেগ V_0 সর্বদিকে সমান, কিন্তু ব্যতিক্রান্ত তরঙ্গের বেগ দিক অনুসারে বিভিন্ন। শূন্যস্থানে এবং কোনও দ্বৈত প্রতিসারক মাধ্যমে আলোক-অক্ষের সমকোণে আলোকের বেগ যথাক্রমে V এবং V_e হলে, সাধারণ প্রতিসরাঙ্ক $\mu_0 = \frac{V}{V_0}$ এবং ব্যতিক্রান্ত প্রতিসরাঙ্ক $\mu_e = \frac{V}{V_e}$।

যে কেলাসের মধ্যে $V_0 > V_e$ এবং গোলকতরঙ্গের মধ্যে উপগোলক-তরঙ্গ অবস্থিত হয় তাকে পজিটিভ কেলাস বলে ; উদাহরণ—কোয়ার্জ। আবার যে কেলাসে $V_e > V_0$ এবং উপগোলক-তরঙ্গের মধ্যে গোলক-তরঙ্গ অবস্থিত হয়, তাকে বলে নেগেটিভ কেলাস ; উদাহরণ—ক্যালসাইট।

আলোক-অক্ষকে প্রতিসারক প্রান্তের সঙ্গে সমান্তরাল অথবা শিরঃকোণের দ্বিখণ্ডক ক'রে, যদি কোনও দ্বৈত প্রতিসারক কেলাসের একটি প্রিজ্‌ম্ তৈয়ারী করা হয় তাহলে প্রতিসৃত রশ্মি প্রথম ক্ষেত্রে সর্বদা এবং দ্বিতীয় ক্ষেত্রে ন্যূনতম বিচ্যুত রশ্মি আলোক-অক্ষের সঙ্গে লম্ব হবে। অতএব μ_e-র সংজ্ঞা প্রযোজ্য হবে এবং বর্ণালি-মিটারের সাহায্যে নিম্নোক্ত সূত্র থেকে μ_e-র মান নির্ণয় করা যাবে :

$$\mu_e = \frac{\sin \frac{A + \delta_{m,e}}{2}}{\sin \frac{A}{2}}$$

যখন $\delta_{m,e}$ = ব্যতিক্রান্ত রশ্মির ন্যূনতম বিচ্যুতিকোণ।

অনুশীলনী

১। দ্বৈত প্রতিসরণ ঘটনাটি চিত্রসহ ব্যাখ্যা কর।

২। সংজ্ঞা নির্দেশ কর : আলোক-অক্ষ, মৌলিক ছেদ, সাধারণ ও ব্যতিক্রান্ত রশ্মির মূলতল। 'সাধারণ ও ব্যতিক্রান্ত রশ্মি পরস্পর লম্বভাবে

সমবর্তিত'—এই উক্তির যাথার্থ্য কিভাবে পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণ করা যায় ? প্রত্যেক রশ্মির ক্ষেত্রে আলোক-ভেক্টরের কম্পন কোন্ দিকে ?

৩। সংজ্ঞা নির্দেশ কর : কম্পনতল ও সমবর্তনতল। কম্পনতলের সংজ্ঞাটি কোন্ ঘটনা থেকে নেওয়া হয়েছে ?

৪। দ্বৈত প্রতিসরণ সম্বন্ধে হাইগেন্সের তত্ত্বটি আলোচনা কর এবং অন্তত একটি ক্ষেত্রে হাইগেন্সের তরঙ্গতল অঙ্কন কর।

৫। পজিটিভ ও নেগেটিভ দ্বৈত প্রতিসারক কেলাসের তুলনা কর।

৬। সাধারণ ও ব্যতিক্রান্ত প্রতিসরাঙ্কের সংজ্ঞা নির্দেশ কর এবং হাইগেন্সের তত্ত্ব অনুসারে তরঙ্গতল অঙ্কন করে সংজ্ঞা দুটির ব্যাখ্যা কর।

৭। নেগেটিভ কেলাসের নিম্নলিখিত ক্ষেত্রগুলিতে হাইগেন্সের তরঙ্গতল অঙ্কন কর যার ভিতরে প্রতিসৃত সাধারণ ও ব্যতিক্রান্ত তরঙ্গমুখের অবস্থান এবং রশ্মির পথ প্রদর্শিত হবে :

(ক) আলোক-অক্ষ আপতনতলে কিন্তু অভিলম্বের সঙ্গে আনত।

(খ) আলোক-অক্ষ আপতনতলে এবং অভিলম্বের সমান্তরাল কিন্তু আপাতিত রশ্মি প্রতিসারক তলের লম্ব নয়।

(গ) আলোক-অক্ষ আপতনতলের সঙ্গে লম্ব কিন্তু প্রতিসারক তলের সমান্তরাল।

৮। পজিটিভ কেলাসের ক্ষেত্রে হাইগেন্সের তরঙ্গতল অঙ্কনের একটি উদাহরণ দাও।

৯। ব্যতিক্রান্ত প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয়ের একটি পদ্ধতি বর্ণনা কর।

চতুর্থ অধ্যায়

দ্বি-অক্ষীয় কেলাসের তত্ত্ব

৪·১ দ্বি-অক্ষীয় কেলাস :

পূর্বে একাক্ষিক কেলাসের আলোকীয় ধর্ম সম্বন্ধে আলোচনা করা হয়েছে। দ্বি-অক্ষীয় কেলাসের মধ্যে আলোকের ধর্ম, সমবর্তনের প্রকৃতি, বিভিন্ন দিকে বেগ প্রভৃতির আলোচনা **স্থিতিস্থাপকীয় উপবৃত্তীয়কের** (Ellipsoid of elasticity) সাহায্যে করলে সুবিধা হয়। কোনও কেলাসিত মাধ্যমে আলোকের সঞ্চালন মাধ্যমের বিভিন্ন দিকে বিভিন্ন ধর্মের উপর নির্ভর করে। সমসত্ত্ব মাধ্যমে সমস্ত দিকে আলোকের বেগ সমান। কিন্তু কেলাস সমসত্ত্ব মাধ্যম নয়। তার আণবিক বিন্যাস অনুসারে বিভিন্ন দিকে বিভিন্ন ধর্ম থাকা স্বাভাবিক। তদনুসারে আলোকের সঞ্চালন, সমবর্তন প্রভৃতির প্রকৃতিও নির্ধারিত হয়।

দ্বি-অক্ষীয় কেলাসের মধ্যে দুটি দিক থাকবে, যার যে কোনও দিকে আলোক-রশ্মি সাধারণ রশ্মির মতো অগ্রসর হবে। ঐ কেলাসের মধ্যে অন্য যে কোনও দিকে সঞ্চালিত রশ্মি ব্যাতিক্রান্ত রশ্মির মতো আচরণ করবে। অর্থাৎ এইসকল রশ্মি প্রতিসরণের সাধারণ নিয়মগুলি অনুসরণ করবে না। দ্বি-অক্ষীয় কেলাসের উদাহরণ : অভ্র (Mica), সেলেনাইট ($CaSO_4$, $2H_2O$), আরাগোনাইট [Aragonite, $CaO(CO)_2$], প্রভৃতি।

৪·২ ফ্রেনেলের পদ্ধতি :

একাক্ষীয় কেলাসে আলোকের আচরণ ব্যাখ্যা করায় যেমন হাইগেন্সের তরঙ্গতল অঙ্কন পদ্ধতি প্রয়োগ করা হয়েছে, দ্বি-অক্ষীয় কেলাসের ক্ষেত্রে সেইরকম কোনও সরলীকৃত অঙ্কন পদ্ধতি অনুসরণ করা সম্ভব নয়। কিন্তু বাস্তব মাধ্যমে যান্ত্রিক কম্পন (mechanical vibration) ব্যাখ্যা করার ক্ষেত্রে যে পদ্ধতি অনুসরণ করা হয় তারই অনুকরণে ফ্রেনেল (Fresnel) কেলাসিত মাধ্যমে আলোক-কম্পনের আচরণ ব্যাখ্যা করেছিলেন।

কোনও মাধ্যমে কোনও পর্যাবৃত্ত তরঙ্গগতির বেগ ঐ মাধ্যমের কতকগুলি বৈশিষ্ট্যের উপর নির্ভর করবে। শব্দতরঙ্গ-জাতীয় কোনও যান্ত্রিক তরঙ্গের (Mechanical waves) ক্ষেত্রে এই বৈশিষ্ট্যগুলি হচ্ছে মাধ্যমের ঘনত্ব ও স্থিতিস্থাপকতার বিভিন্ন গুণাঙ্ক। যেমন শব্দতরঙ্গের বেগ পাওয়া যায় $v=\sqrt{\frac{1}{d}\left(k+\frac{4n}{3}\right)}$ সূত্র থেকে, যখন d, k এবং n যথাক্রমে আলোচ্য মাধ্যমের ঘনত্ব, স্থিতিস্থাপকতার আয়তন গুণাঙ্ক এবং কৃন্তন গুণাঙ্ক (Modulus of rigidity)। ফ্রেনেল আলোক-কম্পন যান্ত্রিক কম্পনের সমতুল্য ধ'রে নিয়ে তাঁর যুক্তি উপস্থাপিত করেছিলেন।

বাস্তব মাধ্যমের মধ্যে যান্ত্রিক তরঙ্গের আচরণ ব্যাখ্যা করার জন্য যে স্থিতিস্থাপকীয় উপবৃত্তীয়কের (Ellipsoid of elasticity) কল্পনা করা হয় তার সমীকরণ হচ্ছে ঃ

$$a^2x^2+b^2y^2+c^2z^2=V^2 \quad \cdots \quad \cdots \quad \text{(i)}$$

এই সমীকরণকেই ফ্রেনেল কেলাসিত মাধ্যমের মধ্যে আলোকতরঙ্গের গতির ব্যাখ্যার জন্য প্রয়োগ করেন। এই সমীকরণে স্থানাঙ্ক অক্ষগুলি কেলাসের মধ্যে নির্দিষ্ট তিনটি দিককে ধরা হয়। কেলাসের আণবিক সজ্জা প্রভৃতির উপর এই অক্ষগুলির দিক নির্ভর করে। a, b এবং c হচ্ছে নির্দিষ্ট কোনও কেলাসের ক্ষেত্রে প্রযোজ্য তিনটি ধ্রুবক যাদের মান কেলাসের প্রকৃতির উপর নির্ভরশীল। V হচ্ছে শূন্যস্থানে আলোকের বেগ। এই আলোচনায় ধরা হয়েছে $a>b>c$।

ম্যাক্সওয়েলের প্রবর্তিত তড়িৎ-চুম্বকীয় তত্ত্ব থেকেও এই সমীকরণে উপনীত হওয়া যায়। প্রথম পরিচ্ছেদে দেখানো হয়েছে যে সমসত্ত্ব মাধ্যমে আলোকতরঙ্গের তড়িৎ ও চৌম্বক ক্ষেত্র মাধ্যমের ভিতর দিয়ে সকল দিকে সমান গতিতে তরঙ্গের আকারে ছড়িয়ে পড়ে। মাধ্যম যদি অচৌম্বক হয় তবে এই বেগের পরিমাণ $V/\sqrt{k}$ যেখানে V শূন্যস্থানে তরঙ্গের বেগ এবং k মাধ্যমের তড়িৎ-বিভাজক গুণাঙ্ক (Dielectric constant)। কিন্তু অসমসত্ত্ব মাধ্যমে তড়িৎ-বিভাজক গুণাঙ্কের মান সবদিকে সমান নয়। ফলে আলোকতরঙ্গ বিভিন্ন দিকে বিভিন্ন বেগে সঞ্চালিত হয়। বিশেষত কেলাসিত মাধ্যমের ক্ষেত্রে তিনটি বিশেষ দিক আছে যাদের সাহায্যে আলোকতরঙ্গের সঞ্চালনের তত্ত্বগত আলোচনা অনেকটা সরলীকৃত হয়। এই তিনটি দিককে

স্থানাঙ্কের তিনটি দিক ধরে ঐ তিনদিকে তাড়িৎ-ভেক্টর ও তাড়িৎ-বিভাজক গুণাঙ্কের মধ্যে একটি সম্বন্ধ নির্ণয় করা যায়। সম্বন্ধটি হচ্ছে :

$$\frac{x^2}{K_1}+\frac{y^2}{K_2}+\frac{z^2}{K_3}=1$$

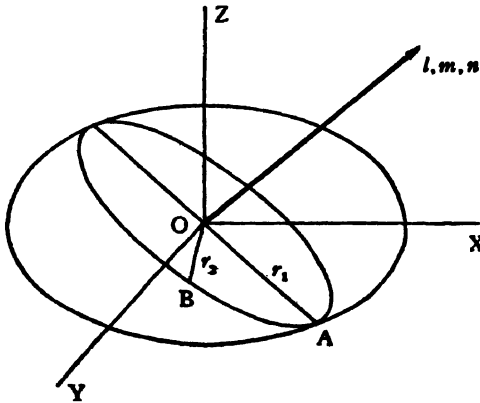
এটি একটি উপবৃত্তীয়কের সমীকরণ এবং এই উপবৃত্তীয়ককে আলোচ্য মাধ্যমের Index ellipsoid বলে। ৫৬-তম চিত্রে এই উপবৃত্তীয়কটিকে দেখানো হ'ল। এই সমীকরণটি অন্যভাবেও লেখা যায়।

উভয়পক্ষকে V^2 দ্বারা গুণ ক'রে পাওয়া যায় :

$$\frac{V^2}{K_1}x^2+\frac{V^2}{K_2}\cdot y^2+\frac{V^2}{K_3}\cdot z^2=V^2$$

যা ফ্রেনেলের স্থিতিস্থাপকীয় উপবৃত্তীয়কের সমীকরণের সঙ্গে অভিন্ন হবে যদি $a^2=\frac{V^2}{K_1}$, $b^2=\frac{V^2}{K_2}$ এবং $c^2=\frac{V^2}{K_3}$ ধরা হয়। সমসত্ত্ব মাধ্যমে আলোকের বেগের মান জ্ঞাপক রাশির অনুসরণ ক'রে লেখা যায় :

$$a=\frac{V}{\sqrt{k_1}},\ b=\frac{V}{\sqrt{k_2}}\text{ এবং } c=\frac{V}{\sqrt{k_3}}$$

সুতরাং a, b এবং c এই তিনটি বিশেষ দিকে আলোকের বেগ নির্দেশ

চিত্র ৫৬
Index ellipsoid-এর চিত্র।

ক'রে বলা যায়। দেখা যাচ্ছে এই Index ellipsoid-এর মূল উপাক্ষগুলির পরিমাণ $\sqrt{k_1}$, $\sqrt{k_2}$ এবং $\sqrt{k_3}$ এবং এইগুলি শূন্যস্থানে

আলোকের বেগ ও যথাক্রমে ঐ দিকগুলিতে মাধ্যমের মধ্যে আলোকতরঙ্গের বেগের অনুপাতের সমান। প্রতিসরাঙ্কের সংজ্ঞা অনুযায়ী ঐগুলি হ'ল ঐ তিনটি দিকে কেলাসটির **মুখ্য প্রতিসরাঙ্কসমূহের** (Principal indices of refraction) মান। এইজন্য আলোচ্য উপবৃত্তীয়কটিকে Index ellipsoid বলে।

এই উপবৃত্তীয়কটির একটি বিশেষ ধর্ম আছে। যদি কেন্দ্র O থেকে l, m, n ডাইরেকশন কোসাইন বিশিষ্ট দিকে একটি সরলরেখা আঁকা যায় তবে ঐ সরলরেখার সঙ্গে লম্ব ও কেন্দ্রগামী তলটি উপবৃত্তীয়কটিকে একটি উপবৃত্ত বরাবর ছেদ করবে। l, m, n দ্বারা নির্দিষ্ট দিকটি যদি আলোকতরঙ্গের সঞ্চালনের দিক হয়, তবে দেখানো যায় যে l, m, n-এর দিকে ধাবিত দুটি তরঙ্গের আলোক-ভেক্টরের দিকের সঙ্গে এই উপবৃত্তটির অক্ষদ্বয়ের দিক সমান্তরাল হয়। যেহেতু ঐ অক্ষদুটি পরস্পরের সঙ্গে সমকোণে অবস্থিত, সুতরাং আলোক-ভেক্টর দুটিও পরস্পরের সঙ্গে লম্ব। এই আলোকতরঙ্গ দুটির বেগ হবে যথাক্রমে V/r_1 এবং V/r_2 যখন r_1 ও r_2 হচ্ছে যথাক্রমে উপবৃত্তের অর্ধপরাক্ষ ও অর্ধ-উপাক্ষের দৈর্ঘ্য। সুতরাং এই দুটি তরঙ্গের প্রত্যেকটি সমবর্তিত তরঙ্গ হবে এবং তাদের কম্পন যথাক্রমে উপবৃত্তের যে অক্ষের দ্বারা বেগ নির্ণীত হচ্ছে তার সঙ্গে সমান্তরাল হবে। অর্থাৎ যে তরঙ্গের বেগ V/r_1 তার কম্পন r_1 বা OA-এর সমান্তরাল এবং যে তরঙ্গের বেগ V/r_2 তার কম্পন r_2 বা OB-র সঙ্গে সমান্তরাল হবে।

কল্পিত উপবৃত্তীয় তলটির আনতি যেমন পরিবর্তিত হবে, সঙ্গে সঙ্গে উপবৃত্তের অক্ষদ্বয়ের দৈর্ঘ্যও পরিবর্তিত হবে। সুতরাং উপবৃত্তীয় তলের সঙ্গে লম্ব অভিমুখে ধাবিত দুটি তরঙ্গের বেগ ও কম্পনের দিকও পরিবর্তিত হবে। কারণ r_1 এবং r_2-র দৈর্ঘ্য পরিবর্তিত হওয়ায় তরঙ্গের বেগ V/r_1 এবং V/r_2 পরিবর্তিত হচ্ছে এবং অক্ষদ্বয়ের অভিমুখের সঙ্গে কম্পনের দিক সমান্তরাল, সুতরাং তারাও পরিবর্তিত হচ্ছে। দেখা যাচ্ছে দুটির মধ্যে কোনও তরঙ্গেরই সকল দিকে নির্দিষ্ট বেগ নেই এবং কোনওটিই প্রতিসরণের সাধারণ নিয়ম অনুসরণ করে না। সাধারণ ও ব্যতিক্রান্ত তরঙ্গের পার্থক্য এখানে আর কার্যকর থাকছে না। দুটি তরঙ্গকেই বলতে হয় ব্যতিক্রান্ত।

তরঙ্গ সঞ্চালনের দিক যদি OX অক্ষকে ধরা যায় তাহলে পূর্বে আলোচিত উপবৃত্তের সমীকরণ হবে :

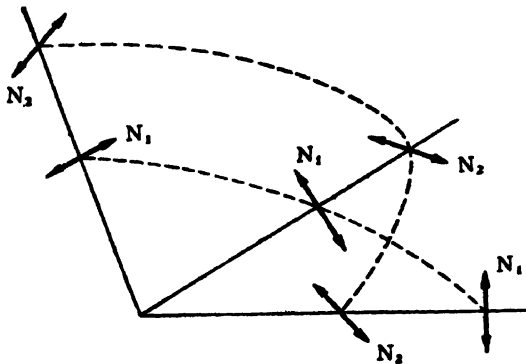
$$b^2y^2 + c^2z^2 = V^2$$

অর্থাৎ
$$\frac{y^2}{(V/b)^2}+\frac{z^2}{(V/c)^2}=1$$

অতএব অর্ধাক্ষদ্বয়ের মান যথাক্রমে V/b এবং V/c, অর্থাৎ পূর্বের আলোচনায় $r_1=V/b$ ও $r_2=V/c$। এবং দুটি তরঙ্গের বেগ যথাক্রমে $V/r_1=b$ ও $V/r_2=c$।

অনুরূপভাবে, OY অভিমুখে ধাবিত দুটি তরঙ্গের বেগ যথাক্রমে c ও a এবং OZ অভিমুখে ধাবিত দুটি তরঙ্গের বেগ যথাক্রমে a ও b।

$\frac{V}{a}$, $\frac{V}{b}$ ও $\frac{V}{c}$ দ্বারা শূন্যস্থানে আলোকের বেগ ও মাধ্যমের মধ্যে বিভিন্ন দিকে তরঙ্গের বেগের অনুপাত সূচিত হচ্ছে। এদের মাত্রা প্রতিসরাঙ্কের সমমানের এবং এদের বলা হয় আলোচ্য মাধ্যমের **মুখ্য প্রতিসরাঙ্ক-নিচয়** (Principal indices of refraction)। কোনও কেলাসের নির্দিষ্ট তিনটি দিকে মুখ্য প্রতিসরাঙ্ক-নিচয়ের মান নির্ণীত হলে কেলাসটির আলোকীয় ধর্ম সম্পূর্ণ জানা হয়েছে ধরা হয়।

৪·৩ অভিলম্ব বেগ নির্ণায়ক তল (Normal velocity surface) :

চিত্র ৫৭

কল্পনা করা যাক, পূর্বে উল্লিখিত কেন্দ্রগামী যে কোনও একটি উপবৃত্তীয় তলের সঙ্গে লম্ব রেখার উপর ON_1 ও ON_2 দুটি দৈর্ঘ্য ছেদ করা হ'ল যারা ঐ লম্ব অভিমুখে ধাবিত দুটি সমবর্তিত তরঙ্গের বেগ নির্দেশ করছে। এইরকম বিভিন্ন আনতিতে অবস্থিত তলের লম্ব নিয়ে তাদের উপর ON_1

ও ON_2 কেটে নেওয়া হ'ল। এখন সমস্ত N_1 বিন্দুগুলির সঞ্চারপথ একটি বক্রতল এবং N_2 বিন্দুগুলির সঞ্চারপথ অপর একটি বক্রতল নির্দেশ করবে। চিত্রের তলে এই দুটি তলের ছেদক বক্ররেখা দুটি ৫৭-তম চিত্রে বিন্দুরেখা দ্বারা দেখানো হয়েছে। এই তলদুটিকে বলা হয় অভিলম্ব বেগ নির্ণায়ক তল। স্থানাঙ্ক জ্যামিতির সাহায্যে দেখানো যায়, এই বেগ নির্ণায়ক তলের সমীকরণ হচ্ছে :

$$\frac{l^2}{a^2-v^2}+\frac{m^2}{b^2-v^2}+\frac{n^2}{c^2-v^2}=0$$

যখন l, m, n হচ্ছে কোনও নির্দিষ্ট দিকের দিক-কোসাইনসমূহ এবং v আলোচ্য দিকে আলোকের বেগ।

বেগ নির্ণায়ক তলের সমীকরণটি এইভাবেও লেখা যায় :

$$l^2(v^2-b^2)(v^2-c^2)+m^2(v^2-c^2)(v^2-a^2)$$
$$+n^2(v^2-a^2)(v^2-b^2)=0$$

বা, $$v^4-\{l^2(b^2+c^2)+m^2(c^2+a^2)+n^2(a^2+b^2)\}v^2$$
$$+l^2b^2c^2+m^2c^2a^2+n^2a^2b^2=0$$

উপরি-উক্ত সমীকরণ থেকে দেখা যাচ্ছে l, m, n-এর নির্দিষ্ট মানের জন্য সাধারণত v^2-এর দুটি মান পাওয়া যাবে। v-এর এই মানগুলির এক একটি এক এক দিকে প্রযোজ্য আলোকের বেগ নির্দেশ করবে। v^2-এর কোনও মানের জন্য $\pm v$ যে দুটি মান পাওয়া যাবে তাদের একই ধরতে হবে। নেগেটিভ মানের অর্থ এখানে পজিটিভ মানের বিপরীত দিকের বেগ। কিন্তু l, m, n-এর বিশেষ কোনও মানের জন্য v^2-এর দুটি মান সমান হতে পারে। দেখানো যায় যে উক্ত সমীকরণের একটি মাত্র মূল থাকতে হলে প্রয়োজনীয় শর্ত হবে :

$$\{l^2(b^2+c^2)+m^2(c^2+a^2)+n^2(a^2+b^2)\}^2$$
$$=4(l^2b^2c^2+m^2c^2a^2+n^2a^2b^2)$$

অর্থাৎ, $$\{l^2(b^2-c^2)-m^2(c^2-a^2)+n^2(a^2-b^2)\}^2$$
$$=4n^2l^2(a^2-b^2)(b^2-c^2)$$

বা, $$\{l\sqrt{b^2-c^2}\pm n\sqrt{a^2-b^2}\}^2+m^2(a^2-c^2)=0$$

এখন যেহেতু $a>b>c$, সুতরাং

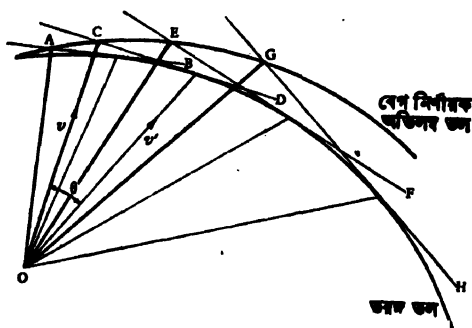
$$l\sqrt{b^2-c^2}\pm n\sqrt{a^2-b^2}=0 \quad \text{এবং} \quad m\sqrt{a^2-c^2}=0$$

আবার যেহেতু $a \neq c$, অতএব $m=0$ এবং $m^2+l^2+n^2=1$ এই অভেদ থেকে পাওয়া যায়, $l^2+n^2=1$

$$\text{সুতরাং} \quad l=\pm\sqrt{\frac{a^2-b^2}{a^2-c^2}} \text{ এবং } n=\pm\sqrt{\frac{b^2-c^2}{a^2-c^2}}$$

অর্থাৎ এক্ষেত্রে তরঙ্গদুটি $m=0$ দ্বারা নির্ণীত একটি নির্দিষ্ট তলেই ধাবিত হবে এবং তাদের একটি মাত্রই বেগ থাকবে। এই দিকের সঙ্গে লম্ব উপবৃত্তীয়কটির কেন্দ্রগামী তল ঐ উপবৃত্তীয় তলকে একটি বৃত্তে ছেদ করবে। সুতরাং এই বৃত্তে $r_1=r_2$ অর্থাৎ আলোকতরঙ্গের একটি মাত্র বেগই হবে। পরে দেখানো হয়েছে যে, এই দিক দুটিই হচ্ছে কেলাসের উভয় আলোক-অক্ষের দিক।

৪'৪ দ্বি-অক্ষীয় কেলাসে তরঙ্গতল :

মনে করা যাক, কোনও দ্বি-অক্ষীয় কেলাসের মাঝখানে কোনও O বিন্দু থেকে চারিদিকে কেলাসের মধ্যে আলোকতরঙ্গ ছড়িয়ে পড়ছে। ঐ বিন্দুটি

চিত্র ৫৮

থেকে আরম্ভ করে এক সেকেণ্ড পরে বিভিন্ন দিকে যে সমতল তরঙ্গমুখগুলি ছড়িয়ে পড়বে তাদের অবস্থান পূর্বের ৫৭-তম চিত্রে N_1, N_2 প্রভৃতি বিন্দু দ্বারা নির্ধারিত হচ্ছে। ঐ বিন্দুগুলির সঙ্গে O বিন্দুর সংযোগকারী রেখাসমূহের সঙ্গে ঐ বিন্দুগুলিতে লম্বতল কল্পনা করলে তারাই এক সেকেণ্ড পরে তরঙ্গমুখসমূহের

অবস্থান নির্দেশ করবে। ৫৮-তম চিত্রে AB, CD, EF প্রভৃতি ঐরকম তরঙ্গমুখের চিহ্ন যাদের অগ্রগতির দিক পরস্পর সামান্য কোণে আনত। এই তরঙ্গমুখগুলির স্পর্শকতল বা আবরণতল (envelope) হবে আলোচ্য মুহূর্তের তরঙ্গতল (wave surface)। এই তরঙ্গতলের যে-কোনও বিন্দুর সঙ্গে উৎসবিন্দু O যোগ করলে সেই সরলরেখা ঐ দিকে আলোকরশ্মির গতি-পথ নির্দেশ করবে। তরঙ্গতলের ঐ বিন্দুতে যে স্পর্শকতল টানা যাবে, ঐ বিন্দু থেকে তার উপর লম্বই হবে তরঙ্গের সঞ্চালনের দিক। এই দিকে তরঙ্গের বেগ হবে v যা আলোকরশ্মির বেগ v' থেকে পৃথক। যদি O বিন্দু থেকে স্পর্শবিন্দু পর্যন্ত রেখার দৈর্ঘ্য রশ্মির গতিবেগের পরিমাণ v' নির্দেশ করে, তবে $v' \cos\theta = v$, অর্থাৎ $v' = \dfrac{v}{\cos\theta}$ যেখানে θ এই রশ্মির দিক ও তরঙ্গাভিলম্বের অন্তর্ভূত কোণ নির্দেশ করবে।

l, m, n দ্বারা নির্ধারিত দিকে তরঙ্গের বেগ v হওয়ায় ঐ দিকে তরঙ্গাভি-লম্বের সঙ্গে লম্বভাবে অবস্থিত সমতলের সমীকরণ হচ্ছে ঃ

$$lx + my + nz = v$$

বিভিন্ন দিকে l, m, n-এর দ্বারা যে সমস্ত তরঙ্গাভিলম্ব নির্ধারিত হবে তাদের সকলের ক্ষেত্রেই অবশ্য ঃ

$$l^2 + m^2 + n^2 = 1$$

এই দুটি সমীকরণের সঙ্গে পূর্বের বেগ নির্ণায়ক সমীকরণ, অর্থাৎ

$$\frac{l^2}{a^2 - v^2} + \frac{m^2}{b^2 - v^2} + \frac{n^2}{c^2 - v^2} = 0$$

-এর সমন্বয় ক'রে কিঞ্চিৎ দীর্ঘ গণনার পরে তরঙ্গতলের নিম্নোক্ত সমীকরণটি পাওয়া যাবে ঃ

$$\frac{x^2}{r^2 - a^2} + \frac{y^2}{r^2 - b^2} + \frac{z^2}{r^2 - c^2} = 1 \qquad \cdots \qquad \text{(i)}$$

যখন $x^2 + y^2 + z^2 = r^2$

এই সমীকরণটিকে নিম্নোক্তরূপেও লেখা যায় ঃ

$$\frac{a^2x^2}{r^2 - a^2} + \frac{b^2y^2}{r^2 - b^2} + \frac{c^2z^2}{r^2 - c^2} = 0$$

এখানে $r=v'$ এবং $\frac{x}{r}, \frac{y}{r}, \frac{z}{r}$ বা আলোকরশ্মির দিক কোসাইন-গুলিকে λ, μ, ν ধরলে পাওয়া যাবে :

$$\frac{\lambda^2 a^2}{v'^2-a^2}+\frac{\mu^2 b^2}{v'^2-b^2}+\frac{\nu^2 c^2}{v'^2-c^2}=0$$

আবার, $lx+my+nz=v$

সুতরাং, $l\frac{x}{r}+\frac{my}{r}+n\frac{z}{r}=\frac{v}{r}$

বা, $l\lambda+m\mu+n\nu=\cos\theta=\frac{v}{v'}$

$\therefore \quad v'=\frac{v}{\cos\theta}$

এই তরঙ্গতলের আকার সম্বন্ধে ধারণা করতে হলে তিনটি স্থানাঙ্কতলে (co-ordinate planes) এই তরঙ্গতলের ছেদগুলির কল্পনা করতে হবে।

পূর্বের (i)-চিহ্নিত সমীকরণটিকে লেখা যায় :

$$x^2(r^2-b^2)(r^2-c^2)+y^2(r^2-c^2)(r^2-a^2)$$
$$+z^2(r^2-a^2)(r^2-b^2)=(r^2-a^2)(r^2-b^2)(r^2-c^2)$$

(1) $x=0$ ধরলে, YZ তলের ছেদকের সমীকরণ পাওয়া যাবে। এক্ষেত্রে $x=0$ এবং $r^2=x^2+y^2+z^2=y^2+z^2$; সুতরাং উপরের সমীকরণে এইসমস্ত মান প্রয়োগ করলে পাওয়া যায় :

$$(r^2-a^2)[y^2(r^2-c^2)+z^2(r^2-b^2)-(r^2-b^2)(r^2-c^2)]=0$$

সুতরাং, $r^2-a^2=0$, অর্থাৎ $y^2+z^2=a^2 \quad \cdots \quad$ (ii)

অথবা, $r^2(y^2+z^2-r^2+b^2+c^2)-y^2c^2-z^2b^2=b^2c^2$

বা, $(y^2+z^2)(b^2+c^2)-y^2c^2-z^2b^2=b^2c^2$

[$\because \quad r^2=y^2+z^2$]

বা, $y^2b^2+z^2c^2=b^2c^2$

বা, $\frac{y^2}{c^2}+\frac{z^2}{b^2}=1 \quad \cdots \quad$ (iii)

(ii) এবং (iii) হচ্ছে যথাক্রমে a ব্যাসার্ধবিশিষ্ট একটি বৃত্ত এবং b ও c অর্ধাক্ষদ্বয়-বিশিষ্ট একটি উপবৃত্তের সমীকরণ। কিন্তু $a > b > c$, সুতরাং উপবৃত্তটি সম্পূর্ণ বৃত্তের অন্তঃস্থ হবে (৫৯-তম চিত্র দ্রষ্টব্য)।

(2) $y=0$ ধরলে, ZX তলের ছেদক পাওয়া যাবে। পূর্বের অনুরূপ গণনার সাহায্যে দেখানো যাবে এক্ষেত্রেও দুটি সমীকরণ পাওয়া যাচ্ছে :

$$x^2+z^2=b^2$$

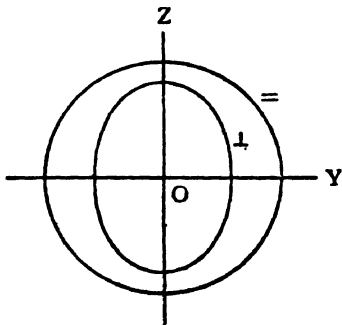
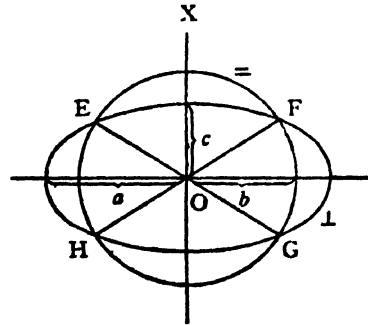
এবং
$$\frac{x^2}{c^2}+\frac{z^2}{a^2}=1$$

ইহারাও b ব্যাসার্ধবিশিষ্ট একটি বৃত্ত এবং c ও a অর্ধ-উপাক্ষ ও অর্ধ-পরাক্ষবিশিষ্ট একটি উপবৃত্তের সমীকরণ। এক্ষেত্রে বৃত্ত ও উপবৃত্ত পরস্পরকে ছেদ করবে (৬০-তম চিত্র দ্রষ্টব্য)।

(3) $Z=0$ ধরলে, তরঙ্গতলের সঙ্গে XY-তলের ছেদক পাওয়া যায়। এক্ষেত্রে প্রাপ্ত সমীকরণ দুটি হচ্ছে :

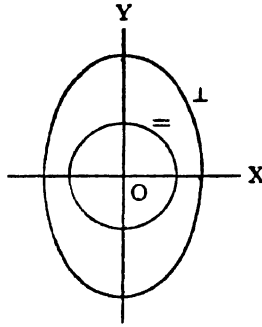
$$x^2+y^2=c^2$$

এবং
$$\frac{x^2}{b^2}+\frac{y^2}{a^2}=1$$

এক্ষেত্রে বৃত্তটি সম্পূর্ণ উপবৃত্তের মধ্যে এবং উপবৃত্তের পরাক্ষ ও উপাক্ষ যথাক্রমে Y- ও X-অক্ষ বরাবর অবস্থিত হবে (৬১-তম চিত্র দ্রষ্টব্য)।

চিত্র ৫৯ চিত্র ৬০

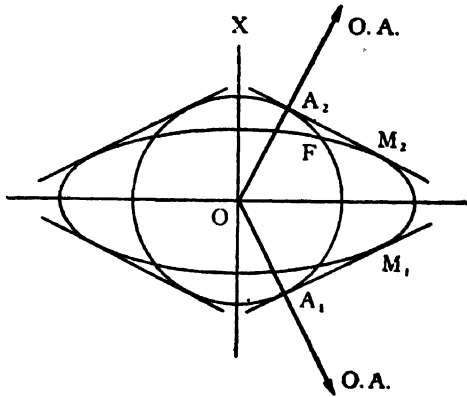
স্থানাঙ্কতলের ছেদক-তিনটির চিত্র অঙ্কিত হ'ল। তরঙ্গগুলির সমবর্তনের দিক 'স্থিতিস্থাপকতা'র উপবৃত্তীয়ক থেকে পাওয়া যায়। চিত্রে

'=' চিহ্ন দ্বারা চিত্রতলের সঙ্গে সমান্তরাল কম্পন এবং '⊥' চিত্র দ্বারা লম্ব কম্পন সূচিত হচ্ছে। এখানে স্মরণযোগ্য যে সমবর্তন তলের সঙ্গে কম্পনের দিক আবার সমকোণে অবস্থিত হয়। চিত্রগুলি থেকে দেখা যাচ্ছে, তরঙ্গতল এখানে দুটি তলের সমন্বয়ে গঠিত। এবং তারা ZX সমতলে চারটি বিন্দু (চিত্র ৬০) ব্যতীত অন্য কোথাও মিলিত হয় না। চিত্র ৬০-এ E, F, G, H

চিত্র ৬১

এই চারটি বিন্দুতে দুটি তলকে মিলিত হতে দেখা যাচ্ছে। এই বিন্দুগুলির এক এক জোড়া কেন্দ্রবিন্দুগামী এক একটি সরলরেখার উভয়দিকে অবস্থিত হয়। এই দুটি রেখা EOG এবং HOF-কে বলা হয় **একক রশ্মি-বেগসূচক অক্ষদ্বয়** (Axes of single ray velocity) বা সংক্ষেপে **রশ্মি-অক্ষ**। এরা আলোক-অক্ষ থেকে সম্পূর্ণ ভিন্ন।

৪·৫ আলোক-অক্ষ:

আলোক-অক্ষকে একটি পৃথক চিত্রে দেখানো হ'ল। ZX-তলের ছেদক চিত্রটিতে A_1M_1 এবং A_2M_2 হচ্ছে বৃত্ত ও উপবৃত্তের দুটি সাধারণ স্পর্শক। সুতরাং বৃত্ত ও উপবৃত্ত উভয় তলেরই M_1 এবং A_1 বিন্দুতে তরঙ্গমুখ দুটি সর্বদা সমান্তরাল এবং একই বেগে ধাবমান। অনুরূপ যুক্তি M_2 এবং A_2 বিন্দুদ্বয় সম্বন্ধেও প্রযোজ্য। OA_1 এবং OA_2 যোগ করলে তারা যথাক্রমে দুটি স্পর্শকতলের সঙ্গে লম্ব হবে। সুতরাং তাদের **একক তরঙ্গবেগের অক্ষ** বলা যায়। এই দুটি দিকে মাত্র একটি ক'রে তরঙ্গ-

আচ্ছাদন (wave envelope) থাকবে। সুতরাং এই দুটি দিকই অর্থাৎ OA_1 এবং OA_2 হচ্ছে কেলাসটির **আলোক-অক্ষ**।

চিত্র ৬২

দেখা যাচ্ছে আলোক-অক্ষ দুটি ZX-তলে অবস্থিত এবং Z-অক্ষের সঙ্গে উভয়দিকে সমভাবে আনত অবস্থায় রয়েছে। একমাত্র এই দুটি দিকে দ্বি-অক্ষীয় কেলাসের মধ্যে কোনও দ্বৈত প্রতিসরণ হয় না এবং আলোক-রশ্মি প্রতিসরণের সাধারণ নিয়ম অনুসরণ করে। অন্য সমস্ত দিকে ধাবমান আলোকরশ্মিই ব্যতিক্রান্ত রশ্মি।

নিম্নে 'আলোক-অক্ষ' ও 'একক রশ্মি বেগসূচক অক্ষ'র গাণিতিক আলোচনা করা হ'ল।

ZX-তলে তরঙ্গতলের ছেদক দুটি বক্ররেখার সমীকরণ:

$$z^2 + x^2 = b^2 \text{ এবং } \frac{z^2}{a^2} + \frac{x^2}{c^2} = 1$$

এদের প্রথমটি একটি বৃত্ত এবং দ্বিতীয়টি একটি উপবৃত্ত। এদের সাধারণ স্পর্শকের সমীকরণ অনায়াসে নির্ণয় করা যায়। যদি এই স্পর্শকটি বৃত্তকে (x_1, z_1) বিন্দুতে ও উপবৃত্তকে (x_2, z_2) বিন্দুতে স্পর্শ করে, তবে

$$\text{উপবৃত্তের ক্ষেত্রে, } \frac{z_2^2}{a^2} + \frac{x_2^2}{c^2} = 1$$

$$\text{ও} \qquad \frac{xx_2}{c^2} + \frac{zz_2}{a^2} = 1$$

এবং বৃত্তের ক্ষেত্রে, $x_1^2+z_1^2=b^2$ ও $xx_1+zz_1=b^2$

মনে রাখতে হবে (x_1, z_1) এবং (x_2, z_2) একটি সাধারণ স্পর্শকের উপরিস্থিত বিন্দু। উপরের সমীকরণগুলি থেকে পাওয়া যায় :

$$x_1=\pm b\sqrt{\frac{a^2-b^2}{a^2-b^2}};\ \ y=0;\ \ z_1=\pm b\sqrt{\frac{b^2-c^2}{a^2-c^2}}$$

সুতরাং O বিন্দুর সঙ্গে সংযোগকারী সরলরেখার দিক-কোসাইনগুলি হবে :

$$\frac{x_1}{b}=\pm\sqrt{\frac{a^2-b^2}{a^2-c^2}},\ 0\ \text{ এবং }\ \frac{z_1}{b}=\pm\sqrt{\frac{b^2-c^2}{a^2-c^2}}$$

অভিলম্ব বেগ নির্ণায়ক তলের সমীকরণ থেকে পূর্বে প্রাপ্ত l, m, n-এর মানের সঙ্গে তুলনা করলে দেখা যাবে এইগুলি একক তরঙ্গবেগ অক্ষের দিক-কোসাইনসমূহের সঙ্গে সমান। আরও দেখা যাচ্ছে এই দুটিই z-অক্ষের উভয়দিকে সমভাবে আনত।

অভিলম্ব বেগ নির্ণায়ক তল ও তরঙ্গতলের গঠনপ্রণালী মনে রাখলে দেখা যাবে যে একক তরঙ্গবেগ অক্ষের সঙ্গে এই স্পর্শকটি (ত্রিমাত্রিক ক্ষেত্রে স্পর্শকতলটি) লম্ব। সুতরাং এই স্পর্শকতলই হচ্ছে তরঙ্গতল দুটির স্পর্শক-তরঙ্গমুখ এবং এই দিকটিতে তরঙ্গের বেগও একটি। সুতরাং এই দিক দুটিই হচ্ছে ৬২-তম চিত্রে বর্ণিত আলোক-অক্ষদ্বয়ের দিক। বৃত্ত ও উপবৃত্তের যে সাধারণ স্পর্শকরেখার কথা এখানে বলা হ'ল তা মাত্র দুটি বিন্দুতে তরঙ্গতলকে স্পর্শ করে না। বস্তুত ত্রিমাত্রিক তরঙ্গতলের ক্ষেত্রে ঐ সাধারণ স্পর্শকরেখা একটি সাধারণ স্পর্শকতলে পরিণত হবে এবং ঐ স্পর্শবিন্দুগুলি একটি বৃত্তের উপর অবস্থিত হবে। এখন O বিন্দু থেকে এই বৃত্তের সঙ্গে সংযুক্ত যে কোনও রেখাই হবে রশ্মির দিক। নীচের অনুচ্ছেদে তার বিস্তৃত বিবরণ দেওয়া হ'ল।

ZX-তলে বৃত্ত ও উপবৃত্তীয়কের ছেদবিন্দু E, F, G, H। এই বিন্দুগুলির যে-কোনটিকে O-বিন্দুর সঙ্গে যোগ করলে সেই সরলরেখাই হবে আলোকরশ্মির গতিপথ। এই ছেদবিন্দু চারটির স্থানাঙ্ক পাওয়া যায় নিম্নলিখিত সমীকরণদ্বয়ের সমাধান থেকে :

$x^2+z^2=b^2$ এবং $\frac{x^2}{c^2}+\frac{z^2}{a^2}=1$, সমাধানগুলি হচ্ছে :

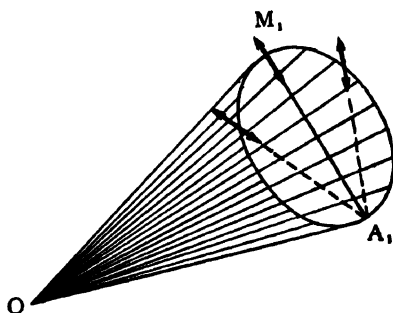
$$x=\pm c\sqrt{\frac{a^2-b^2}{a^2-c^2}}\ \text{ এবং }\ z=\pm a\sqrt{\frac{b^2-c^2}{a^2-c^2}}$$

এবং এই রশ্মির দিক-কোসাইনসমূহ হচ্ছে :

$$\frac{x}{b} = \pm \frac{c}{b}\sqrt{\frac{a^2-b^2}{a^2-c^2}},\ 0 \text{ এবং } \frac{z}{b} = \pm \frac{a}{b}\sqrt{\frac{b^2-c^2}{a^2-c^2}}$$

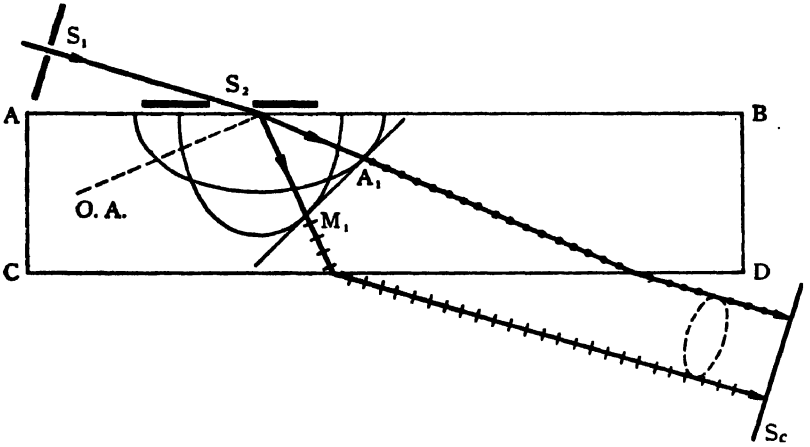
এইগুলি আলোক-অক্ষদ্বয়ের সমতলে অবস্থিত হ'লেও তাদের থেকে পৃথক এবং z-অক্ষের দু-দিকে সমভাবে আনত। বস্তুত এই দু-জোড়া দিকই হচ্ছে 'একক রশ্মি বেগসূচক অক্ষের দিক' (চিত্র ৬০ দ্রষ্টব্য)।

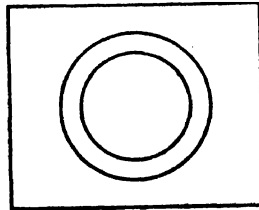
৪·৬ অন্তঃস্থ শাঙ্কব প্রতিসরণ (Internal conical refraction) :

পূর্বের আলোচনায় আমরা দেখলাম ৬২-তম চিত্রে প্রদর্শিত সাধারণ স্পর্শকতল A_1M_1 দুটি তরঙ্গতলকে কেবল দুটি বিন্দুতেই স্পর্শ করে না। সমগ্র ত্রিমাত্রিক তরঙ্গতল দুটি কল্পনা করলে গোলকীয় ও উপবৃত্তীয়ক তল দুটি তরঙ্গতলকে A_1M_1 ব্যাসবিশিষ্ট একটি বৃত্তের পরিধি বরাবর স্পর্শ করে। এখন আমরা জানি, উৎস O-কে তরঙ্গতল ও স্পর্শকতলের স্পর্শবিন্দুতে যোগ

চিত্র ৬৩

করলে একটি ক'রে রশ্মির দিক পাওয়া যাবে। দ্বৈত প্রতিসারক মাধ্যমে এমন কোন নিয়ম নেই যে রশ্মির দিক সর্বদা তরঙ্গতলের সঙ্গে লম্ব হবে। সুতরাং O বিন্দুর সঙ্গে A_1M_1 ব্যাসবিশিষ্ট বৃত্তটির বিভিন্ন বিন্দু যোগ করলে অসংখ্য রশ্মির পথ পাওয়া যাবে। এই রশ্মিগুলি O শীর্ষ-বিশিষ্ট একটি আনত শঙ্কুর (inclined cone) বহিঃস্থ তলের উপর অবস্থিত হবে। তাদের মধ্যে একমাত্র OA_1 সাধারণ রশ্মি বা O-রশ্মি হওয়ায় তার ক্ষেত্রে কম্পন মূলতলের সঙ্গে লম্ব হবে। এই কম্পনের দিক OA_1 রেখার উপরেও লম্ব এবং তাদের ৬৪-তম চিত্রে ডট্-চিহ্ন (dots)-এর দ্বারা দেখানো হয়েছে।

অন্য যে কোনও রশ্মির ক্ষেত্রে কম্পনের দিক রশ্মি ও তরঙ্গমুখের অভিলম্ব (অর্থাৎ এক্ষেত্রে আলোক-অক্ষ OA_1) দ্বারা নির্ণীত তলের সমান্তরাল হবে। সঙ্গে সঙ্গে ঐ কম্পন হবে সর্বদা রশ্মির সঙ্গে লম্ব। এই রশ্মিগুলির কম্পনের দিক ৬৩-তম চিত্রে তীরচিহ্নের দ্বারা দেখানোর চেষ্টা হয়েছে। OA_1 ব্যতীত এরা সকলেই E-রশ্মি বা ব্যতিক্রান্ত রশ্মি। **স্যার উইলিয়াম হ্যামিলটন** তত্ত্বীয়ভাবে এই সিদ্ধান্তে উপনীত হয়েছিলেন। ডক্টর এইচ. লয়েড (Lloyd) পরীক্ষার সাহায্যে এই তত্ত্বের সত্যতা প্রমাণিত করেন।

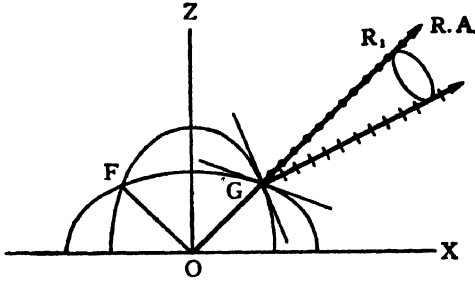
লয়েডের পরীক্ষা : ডক্টর লয়েড তাঁর পরীক্ষায় একটি আরাগনাইটের

চিত্র ৬৪
অন্তঃস্থ শাঙ্কব প্রতিসরণ ; লয়েডের পরীক্ষা।

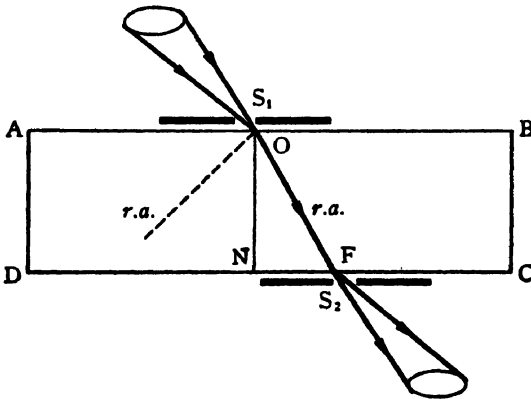
পাত নিলেন যার বিপরীত সমান্তরাল তলদুটি (চিত্রে AB ও CD) আলোক-অক্ষদ্বয় S_2A_1 এবং O.A.-এর অন্তর্ভূত কোণের সমদ্বিখণ্ডকের সঙ্গে

চিত্র ৬৫
লয়েডের পরীক্ষায় ঘষা কাচের উপর আলোর বলয়।

লম্বভাবে অবস্থিত। অর্থাৎ ৬২-তম চিত্রানুযায়ী Z-অক্ষের সঙ্গে লম্ব। সুতরাং উভয় তলই XY-অক্ষের সমান্তরাল। এইভাবে পাতটিকে কেটে নেওয়ার সুবিধা হচ্ছে—এক্ষেত্রে শঙ্কুর কৌণিক বিস্তার সর্বাপেক্ষা অধিক হবে। একটি সূক্ষ্ম, সমান্তরাল, একবর্ণীয় অসমবর্তিত আলোকের রশ্মিগুচ্ছ S_1 এবং S_2 দুটি স্লিটের ভিতর দিয়ে চালিত ক'রে আরাগনাইট কেলাসটির উপর আপতিত করা হ'ল। কেলাসের বিপরীত দিকে উপযুক্ত স্থানে একটি ঘষা কাচের পরদা S_0 রাখলে তার উপর সাধারণত দুটি বিন্দুর আকারের বিম্ব দেখা যাবে। এখন S_1 ও S_2 স্লিট-দুটির অবস্থান খুব ধীরে ধীরে এমনভাবে উপযোজন করতে হবে যাতে কেলাসের ভিতর প্রতিসৃত তরঙ্গাভিলম্ব একটি আলোক-অক্ষ OA_1-এর সঙ্গে সমাপতিত হয়। এই উপযোজন সম্পন্ন হ'লে ঘষা কাচের পরদাটির উপর একটি উজ্জ্বল বৃত্ত বা বলয়ের মতো দেখা যাবে। অন্তঃস্থ শাঙ্কব প্রতিসরণের জন্য যে আলোকরশ্মিগুচ্ছ নির্গত হবে তার প্রত্যেকটি রশ্মি আপতিত রশ্মি S_1S_2-র সঙ্গে সমান্তরাল হবে। সুতরাং তারা কেলাসের বাহিরে একটি রশ্মির সিলিণ্ডার গঠন করবে। এই সিলিণ্ডারের প্রস্থচ্ছেদই ঘষা কাচের পরদার উপর বলয়ের আকারে দেখতে পাওয়া যাবে। [পোগেনড্রফ্ এবং হাইডিঙ্গার অবশ্য খুব সূক্ষ্ম আলোকের কিরণ নিয়ে দেখিয়েছিলেন পরদার উপর প্রকৃতপক্ষে সমকেন্দ্রিক দুটি বলয় দেখতে পাওয়া যায়। তাঁদের এই পর্যবেক্ষণের প্রায় ৫০ বৎসর পরে ভয়েট (Voigt) 1905 সালে এই ঘটনারও ব্যাখ্যা করেছিলেন।]

৪·৭ বহিঃস্থ শাঙ্কব প্রতিসরণ (External conical refraction) :

দ্বি-অক্ষীয় কেলাসে হাইগেন্সের তরঙ্গতল অঙ্কনের সময়ে আমরা দেখেছি গোলকীয় ও উপবৃত্তীয়ক তরঙ্গতল দুটি OF এবং OG রেখাদুটির উপর ছেদ করে (৬০-তম চিত্র)। এই রেখাদুটিকে একক রশ্মি অক্ষদ্বয় (single ray axes) বলা হয়। এইরকম যে কোনও একটি একক রশ্মি অক্ষ OG কল্পনা করা যাক (চিত্র ৬৬)। ত্রিমাত্রিক তরঙ্গতলের ক্ষেত্রে G বিন্দুতে একটি গর্তের মতো হয়। ঐখানে অর্থাৎ ঐ গর্তের শীর্ষে অসংখ্য সমতল তরঙ্গতল কল্পনা করা যেতে পারে যারা ঐ শাঙ্কব আকৃতির বক্রতলের সঙ্গে বিভিন্ন দিকে স্পর্শক। এই স্পর্শকতলগুলির আবরণতল (envelope) হবে একটি শঙ্কু। প্রত্যেক তরঙ্গতলের সঙ্গে তার তরঙ্গাভিলম্বও থাকবে।

এই তরঙ্গাভিলম্বগুলিও একটি শাঙ্কব তল গঠন করবে। এখন ধরা যাক, দ্বি-অক্ষীয় কেলাসটির OG বরাবর একটি আলোকরশ্মি এসে G বিন্দুতে কেলাসের নির্গমনতলে আপতিত হ'ল। তাহ'লে পূর্বের ঐ অসংখ্য দিকে

চিত্র ৬৬

তরঙ্গাভিলম্ব অনুসারে অসংখ্য কম্পনের দিক বিশিষ্ট আলোকরশ্মি G বিন্দু থেকে নির্গত হবে। ঐ রশ্মিগুলিও একটি শাঙ্কব তলে অবস্থিত হবে। স্যার ড্যানিয়েল হ্যামিলটন তত্ত্বীয়ভাবে এই সিদ্ধান্তে উপনীত হয়েছিলেন। এই ঘটনাকে বলা হয় বহিঃস্থ শাঙ্কব প্রতিসরণ। কারণ প্রতিসৃত আলোক-রশ্মিগুচ্ছ দ্বি-অক্ষীয় কেলাসটির বাহিরে বায়ুতে শঙ্কু গঠন করে।

চিত্র ৬৭
বহিঃস্থ শাঙ্কব প্রতিসরণ ; লয়েডের পরীক্ষা।

ডক্টর এইচ. লয়েড বহিঃস্থ শাঙ্কব প্রতিসরণও পরীক্ষার সাহায্যে পর্যবেক্ষণের পদ্ধতি উদ্ভাবন করেন। তিনি একটি আরাগনাইট কেলাস থেকে

একটি সমান্তরাল পাত ABCD এমনভাবে কেটে নেন যেন তার দুটি একক রশ্মি অক্ষের ($r.a$, $r.a$) অন্তর্ভূত কোণের সমদ্বিখণ্ডক ON রেখা AB তলের সঙ্গে ঠিক লম্ব হয়।

মাঝখানে সূক্ষ্ম ছিদ্রবিশিষ্ট দুটি ধাতুপাত S_1 এবং S_2-কে AB ও CD তলের সঙ্গে সংলগ্নভাবে চিত্রের মতো অবস্থায় রাখা হয়। এখন S_1 পাতের দিকের ছিদ্রে একটি অসমবর্তিত ও একবর্ণীয় আলোকের শঙ্কুকে আপতিত করা হয় যাতে শঙ্কুর শীর্ষটি ছিদ্রের উপর পড়ে। বিপরীত দিকের ছিদ্র থেকে সামান্য ব্যবধানে একটি ঘষা কাচের পরদা রাখা হয়। S_2 পাতটি উপযোজন করবার পূর্বে সাধারণত পরদার উপর দুটি আলোকবিন্দু দেখতে পাওয়া যাবে। কারণ OF রেখাটি একক রশ্মি অক্ষের সঙ্গে মিলিত হয়নি। এখন S_2-কে প্রয়োজনমতো সরিয়ে উপযোজন করতে হবে যাতে পরদার উপর একটি আলোকিত বৃত্ত দেখতে পাওয়া যায়। এই বৃত্তটিই CD-তল থেকে নির্গত ফাঁপা রশ্মিগুচ্ছের শঙ্কুর জন্যে উৎপন্ন হয়েছে। AB-তলে আপতিত শঙ্কুটি কিন্তু ফাঁপা না হয়ে নীরেট হলেও ক্ষতি নেই। নীরেট শঙ্কুটির শীর্ষকোণ অবশ্য ফাঁপা শঙ্কুটির শীর্ষকোণের সমান বা তার চেয়ে বড় হওয়া প্রয়োজন। ঐ নীরেট শঙ্কুর মধ্যে একটি উপযুক্ত শীর্ষকোণবিশিষ্ট ফাঁপা শঙ্কু কল্পনা করা যেতে পারে যার তলের উপরিস্থিত রশ্মিগুলি কেবল একক রশ্মি অক্ষ OF বরাবর কেলাসের মধ্যে প্রতিসৃত হবে। আপতিত নীরেট শঙ্কুর অপর রশ্মিগুলি অন্য বিভিন্ন দিকে প্রতিসৃত হয়ে অস্বচ্ছ ধাতুপাত S_2 দ্বারা বাধাপ্রাপ্ত হবে।

৪·৮ আলোক-অক্ষের বিচ্ছুরণ (Dispersion) ও পরিবর্তন:

অধিকাংশ দ্বি-অক্ষীয় কেলাসে আলোক-অক্ষদ্বয় একেবারে নির্দিষ্ট নয়, আলোকের তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সঙ্গে তাদের দিক পরিবর্তিত হয়। ভায়োলেট প্রান্ত থেকে লাল প্রান্ত পর্যন্ত আলোকতরঙ্গের পরিবর্তনের সঙ্গে আলোক-অক্ষগুলি এমনকি 90° পর্যন্ত পরিবর্তিত হতে পারে। আবার উষ্ণতার পরিবর্তনের সঙ্গেও কোনও কোনও কেলাসে আলোক-অক্ষের দিক, এমনকি কেলাসের প্রকৃতিও পরিবর্তিত হয়। যেমন সেলেনাইটের উষ্ণতা বাড়াতে থাকলে একসময়ে তা একাক্ষিক কেলাসে পরিণত হয়। আরও উষ্ণতাবৃদ্ধি করলে আবার একসময়ে তা দ্বি-অক্ষীয়তা ধর্ম পুনরায় লাভ করে, কিন্তু এক্ষেত্রে আলোক-অক্ষদ্বয়ের তল পূর্বের তলের সঙ্গে সমকোণে অবস্থিত হয়।

৪·৯ বিশেষ ক্ষেত্র হিসাবে একাক্ষিক কেলাস :

দ্বি-অক্ষীয় কেলাসের পূর্বে আলোচিত তত্ত্ব একাক্ষিক কেলাসের ক্ষেত্রেও প্রযোজ্য। এক্ষেত্রে a, b ও c এদের মধ্যে যে কোনও দুটিকে সমান ধরতে হবে। যেমন ধরা যাক :

$a=b>c$; তাহলে তরঙ্গতলের সমীকরণ হবে :

$$\frac{x^2}{r^2-a^2}+\frac{y^2}{r^2-a^2}+\frac{z^2}{r^2-c^2}=1$$

বা, $(x^2+y^2)(r^2-a^2)(r^2-c^2)+z^2(r^2-a^2)^2$
$$=(r^2-a^2)^2(r^2-c^2)$$

অথবা, $(r^2-a^2)\{(x^2+y^2+z^2)r^2-(x^2+y^2)c^2-z^2a^2-r^4$
$$+r^2(a^2+c^2)-a^2c^2\}=0$$

সুতরাং, $r^2=a^2$, অর্থাৎ, $x^2+y^2+z^2=a^2$

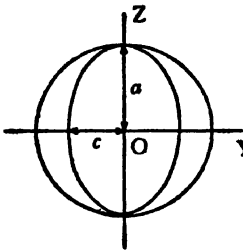
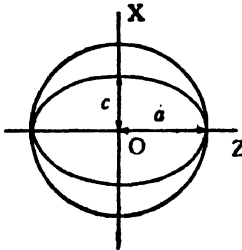
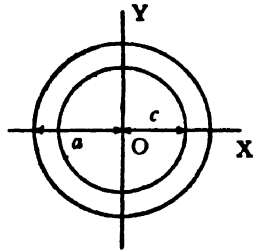
বা, $(x^2+y^2+z^2)(a^2+c^2)-(x^2+y^2)c^2-z^2a^2=a^2c^2$
[$x^2+y^2+z^2=r^2$ লিখে]

বা, $(x^2+y^2)a^2+z^2c^2=a^2c^2$

বা, $\dfrac{x^2+y^2}{c^2}+\dfrac{z^2}{a^2}=1$

এখানে তরঙ্গতলটি একটি গোলক $x^2+y^2+z^2=a^2$ এবং একটি উপগোলক $\dfrac{x^2+y^2}{c^2}+\dfrac{z^2}{a^2}=1$ দ্বারা গঠিত হবে। সুতরাং বিভিন্ন স্থানাঙ্ক তলের দ্বারা এই তরঙ্গতল দুটির ছেদিত রেখাগুলির সমীকরণ যথাক্রমে $x=0$, $y=0$ এবং $z=0$ ধরলে পাওয়া যাবে। এই সমীকরণগুলি হচ্ছে :

$$\left.\begin{array}{l} y^2+z^2=a^2 \\ \dfrac{y^2}{c^2}+\dfrac{z^2}{a^2}=1 \end{array}\right\}\cdots(1),\quad \left.\begin{array}{l} x^2+z^2=a^2 \\ \dfrac{x^2}{c^2}+\dfrac{z^2}{a^2}=1 \end{array}\right\}\cdots(2),\quad \left.\begin{array}{l} x^2+y^2=a^2 \\ x^2+y^2=c^2 \end{array}\right\}\cdots(3)$$

এদের চিত্ররূপ নীচে ক্রমানুসারে দেখানো হ'ল ঃ

চিত্র ৬৮ চিত্র ৬৯ চিত্র ৭০

প্রত্যেক ক্ষেত্রে তল দুটি যে বিন্দুতে ছেদ বা স্পর্শ করবে তাদের স্থানাঙ্ক হ'ল ঃ $x=0$, $y=0$ এবং $z=\pm a$ এবং ছেদবিন্দুদ্বয়ের দিক হচ্ছে z-অক্ষের দিক। স্পষ্টত দেখা যাচ্ছে ঐ দিকটি আলোক-অক্ষেরও দিক। এক্ষেত্রে দুটি আলোক-অক্ষ একত্রে একটি আলোক-অক্ষে পরিণত হয়। উপরন্তু ঐ দিকটি আলোকরশ্মিরও সমদিগ্‌বর্তী।

যদি আলোকরশ্মি Z-অক্ষ বরাবর সঞ্চালিত হয় তবে তার বেগ হবে c। অনুরূপভাবে, Z-অক্ষের সমকোণে X- বা Y-অক্ষের দিকে আলোক গমন করলে তার দুটি বেগ থাকে যাদের মান যথাক্রমে a এবং b হবে। আরও দেখা যাবে, যেহেতু তরঙ্গতলের একটি অংশ সর্বদা একটি গোলক, সুতরাং যেদিক দিয়েই আলোকরশ্মি সঞ্চালিত হোক না কেন, ঐ গোলকের সঙ্গে সংশ্লিষ্ট রশ্মির বেগ সর্বদা একই $(=a)$ হবে। এটিই হচ্ছে সাধারণ বা O-রশ্মি।

সারাংশ

দ্বি-অক্ষীয় কেলাসে কেবল দুটি দিক থাকবে যাদের যে কোনও দিকে আলোকরশ্মি সাধারণ রশ্মির মতো প্রতিসৃত হবে। এই দুটি দিকই আলোক-অক্ষ। অন্য যে কোনও দিকে আলোকরশ্মি ব্যতিক্রান্ত রশ্মির মতো আচরণ করবে। স্থিতিস্থাপক মাধ্যমে যান্ত্রিক তরঙ্গ সঞ্চালনের ক্ষেত্রে স্থিতিস্থাপকতার উপবৃত্তীয়কের সাহায্যে তরঙ্গের আচরণ যেভাবে ব্যাখ্যা করা হয় তারই অনুকরণে ফ্রেনেল কেলাসিত মাধ্যমের মধ্যে আলোক-তরঙ্গ বিস্তারের তত্ত্বীয় ব্যাখ্যা উপস্থাপিত করেন। এই উপবৃত্তীয়কের তলই তরঙ্গতলের অবস্থান

নির্দেশ করে। কেলাসের মধ্যে নির্দিষ্ট তিনটি পরস্পর লম্ব দিককে স্থানাঙ্ক অক্ষ ধ'রে বিভিন্ন স্থানাঙ্কতলে উপবৃত্তয়ীকের যে ছেদিত তল পাওয়া যায় তাদের আকৃতি থেকে কেলাসের মধ্যে তরঙ্গ-বিস্তারের বৈশিষ্ট্যগুলি জানা যায়। দেখা যায়, কোনও স্থানাঙ্ক অক্ষের সহিত দুইদিকে সমান কোণে আনত দুটি আলোক-অক্ষ অবস্থিত হয়। এ ছাড়া আরও দুটি দিকে আলোকরশ্মি সমান বেগে ধাবিত হয়। এদের বলা হয় রশ্মি-অক্ষ। এরাও একই স্থানাঙ্ক-অক্ষের সঙ্গে সমান কোণে আনত।

কোনও দ্বি-অক্ষীয় কেলাসের যে কোনও আলোক-অক্ষের সঙ্গে লম্ব দুটি সমান্তরাল তলের দ্বারা একটি পাত কেটে নিয়ে ঐ পাতের উপর লম্বভাবে একটি একবর্ণীয় রশ্মি পাতিত করলে কেলাসের মধ্যে তা থেকে তির্যক শঙ্কুর আকারে একটি আলোকের রশ্মিগুচ্ছ প্রতিসৃত হয়। একে অন্তঃস্থ শাঙ্কব প্রতিসরণ বলে।

সমান্তরাল তলবিশিষ্ট কোনও দ্বি-অক্ষীয় কেলাসের উপর একটি একবর্ণীয় রশ্মিগুচ্ছের ফাঁপা শঙ্কু যদি এমনভাবে আপতিত হয় যে রশ্মি অক্ষ বরাবর ঐ রশ্মিগুচ্ছের জন্য একটি মাত্র রশ্মি বা সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ প্রতিসৃত হয়, তাহ'লে বিপরীত তল থেকেও অনুরূপ একটি ফাঁপা শঙ্কুর আকারে রশ্মিগুচ্ছ নির্গত হবে। একে বলা হয় বহিঃস্থ শাঙ্কব প্রতিসরণ।

স্যার উইলিয়াম হ্যামিলটন কর্তৃক তত্ত্বীয়ভাবে উপস্থাপিত পূর্বোক্ত দুটি বৈশিষ্ট্যের সত্যতা ডঃ লয়েড পরীক্ষা দ্বারা প্রতিপন্ন করেন।

অনুশীলনী

১। দ্বি-অক্ষীয় কেলাস কাকে বলে? এইজাতীয় কেলাস সম্বন্ধে ফ্রেনেল-এর প্রস্তাবিত তত্ত্বটির সংক্ষিপ্ত আলোচনা কর।

২। দ্বি-অক্ষীয় কেলাসের আলোক-অক্ষ এবং রশ্মি-অক্ষ কাদের বলে? চিত্রসহ ব্যাখ্যা কর। ফ্রেনেল প্রস্তাবিত তত্ত্ব থেকে কেমন ক'রে তাদের অবস্থান ও ধর্ম সম্বন্ধে অবগত হওয়া যায়?

৩। স্থিতিস্থাপকতার উপবৃত্তীয়ক কি? দ্বি-অক্ষীয় কেলাসের ক্ষেত্রে এই উপবৃত্তীয়কের প্রয়োগ সম্বন্ধে সংক্ষিপ্ত আলোচনা কর।

৪। অন্তঃস্থ শাঙ্কব প্রতিসরণ সম্বন্ধে তত্ত্বীয়ভাবে স্যার উইলিয়াম হ্যামিলটন কি সিদ্ধান্তে উপনীত হয়েছিলেন ? এইগুলি বাস্তব ক্ষেত্রে কেমন ক'রে পরীক্ষা দ্বারা প্রদর্শন করা যায় তার বর্ণনা কর।

৫। সংক্ষিপ্ত টীকা দাও :

(ক) স্থিতিস্থাপকতার উপবৃত্তীয়ক ও তার প্রয়োগ।

(খ) দ্বি-অক্ষীয় কেলাসে আলোক-অক্ষ ও রশ্মি-অক্ষ।

(গ) আলোক-অক্ষের বিচ্ছুরণ ও পরিবর্তন।

(ঘ) অন্তঃস্থ শাঙ্কব প্রতিসরণ।

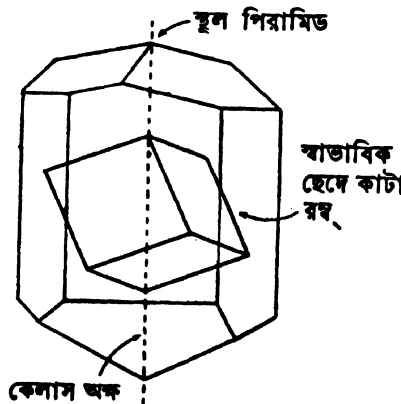
(ঙ) বহিঃস্থ শাঙ্কব প্রতিসরণ।

প্রথম অধ্যায়

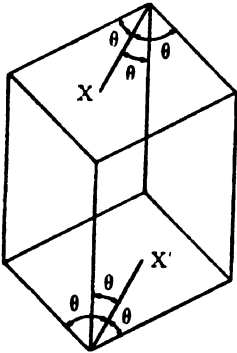
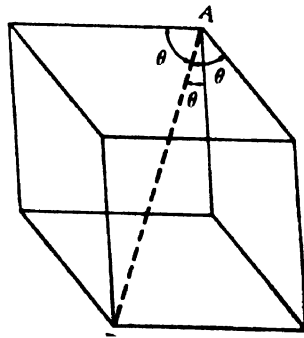
বিবিধ সমবর্তক

পূর্বে সমবর্তনের মূলনীতি সম্বন্ধে বিস্তৃত আলোচনা হয়েছে। এই অধ্যায়ে সমবর্তিত আলোক উৎপাদনের নানা পন্থা এবং বিবিধ প্রকারের সমবর্তক সরঞ্জামের প্রস্তুত-প্রণালী, ক্রিয়া ও ব্যবহার সম্বন্ধে আলোচনা হবে। ক্যালসাইট কেলাস দ্বারা নির্মিত নিকল প্রিজ্‌ম্ একটি বহুল ব্যবহৃত সমবর্তক, সেইজন্য ক্যালসাইট কেলাসের গঠন সম্বন্ধে প্রথমে আলোচনা করা হল। প্রতিফলন ও প্রতিসরণ দ্বারা সমবর্তিত আলোক উৎপাদনের পদ্ধতি পূর্বেই আলোচিত হয়েছে। এই অধ্যায়ে তার আর পুনরাবৃত্তি করার প্রয়োজন নেই। এখানে প্রধানত দ্বৈত প্রতিসরণ, দ্বিরাগত্ব (Dichroism) প্রভৃতি ধর্মের উপর নির্মিত সমবর্তক সম্বন্ধে বর্ণনা দেওয়া হবে।

৫·১ ক্যালসাইট কেলাসের গঠন ও ধর্ম:

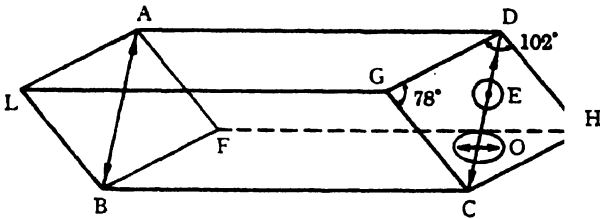
পূর্বে বলা হয়েছে, ক্যালসাইট হচ্ছে ক্যালসিয়াম কার্বনেটের সোদক কেলাস (hydrated crystal)। স্বাভাবিক ক্যালসাইট কেলাসগুলি স্বচ্ছ এবং

চিত্র ৭১

ক্যালসাইট কেলাস।

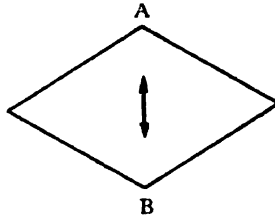
দুই প্রান্তে দুটি স্থূল পিরামিড (blunt pyramids)-বিশিষ্ট ষড়্‌ভুজ (Hexagonal) কেলাস। পিরামিড দুটির শীর্ষ সংযোগকারী রেখা কেলাসের কেলাস-অক্ষ। এই কেলাস-অক্ষই ক্যালসাইটের আলোক-অক্ষের দিক নির্দেশ করছে। কোনও কেলাসকে ছুরির ফলা জাতীয় বস্তু দিয়ে আঘাত করলে কেলাসটি সাধারণত যে তল বরাবর সহজে ফেটে যায় তাকে কেলাসের বিদারণ তল (cleavage face) বলে, এ কথা আগে বলা হয়েছে। একটি স্বাভাবিক ক্যালসাইট কেলাসকে বিদারণতল বরাবর বিদীর্ণ করলে একটি রম্বোহেড্রন বা রম্ব্‌ (Rhomb) আকারের কেলাস পাওয়া যায়। একে ক্যালসাইট রম্ব্‌ বলে। রম্বের তলগুলির প্রত্যেকটি সামান্তরিক এবং বিপরীত সামান্তরিকগুলি সর্বসম হয়। ক্যালসাইট রম্বের প্রত্যেক সামান্তরিক তলে যে চারটি শীর্ষকোণ থাকে তাদের দুটি স্থূলকোণ এবং দুটি সূক্ষ্মকোণ। স্থূলকোণ দুটির প্রত্যেকের পরিমাণ $101^\circ\ 53'$ এবং সূক্ষ্মকোণ দুটির প্রত্যেকটি $78^\circ\ 7'$। এদের যথাক্রমে α এবং β দ্বারা সূচিত করা হবে। ক্যালসাইট রম্বের যে আটটি শীর্ষ আছে তাদের মধ্যে দুটি পরস্পর বিপরীত শীর্ষকে স্থূল শীর্ষ (blunt corners) বলে, কারণ এই দুটি শীর্ষে যে তিনটি সামতলিক

চিত্র ৭২ চিত্র ৭৩

কোণ (Plane angles) মিলিত হয়, তাদের প্রত্যেকের মান α, অর্থাৎ তারা প্রত্যেকে স্থূলকোণ। অবশিষ্ট ছ'টি শীর্ষে একটি মাত্র স্থূলকোণ এবং দুটি সূক্ষ্মকোণ মিলিত হয়।

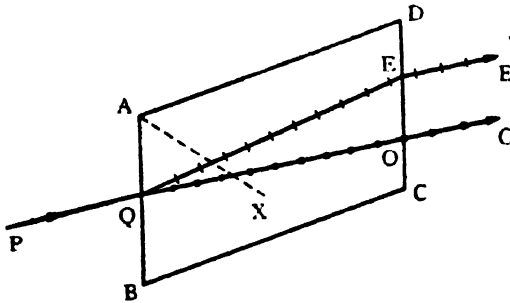
একটি ক্যালসাইট রম্ব্‌-এর দুটি স্থূলশীর্ষের যে কোনও একটির ভিতর দিয়ে যদি এমন একটি সরলরেখা কল্পনা করা যায় যা ঐ শীর্ষে মিলিত তিনটি প্রান্তের (edge) সঙ্গে একই কোণে আনত, তা হ'লে সেই সরলরেখাটি ঐ ক্যালসাইটের আলোক-অক্ষ নির্দেশ করবে। যে কোনও দৈর্ঘ্য-প্রস্থ-বিশিষ্ট রম্ব্‌-এর দুটি স্থূলশীর্ষ থেকে দুটি আলোক-অক্ষ কল্পনা করলে তারা অবশ্যই সমান্তরলে হবে কিন্তু একরেখায় অবস্থিত হবে না। কিন্তু রম্ব্‌টির সবগুলি প্রান্ত যদি সমান দৈর্ঘ্যের হয় তাহলে দুটি স্থূলশীর্ষের সংযোগকারী সরলরেখাটিই আলোক-অক্ষের দিক নির্দেশ করবে। ৭২ ও ৭৩-তম চিত্রে যথাক্রমে এই দু-রকম গঠনের রম্ব্‌ ও তাদের মধ্যে আলোক-অক্ষের অবস্থান দেখানো হয়েছে। উভয় চিত্রে A ও B স্থূলশীর্ষ। প্রথম চিত্রে AX ও BX′ এবং দ্বিতীয় চিত্রে AB আলোক-অক্ষ নির্দেশ করছে। সমতল কাগজের উপর এজাতীয় ত্রিমাত্রিক বস্তুর গঠন সম্বন্ধে সঠিক ধারণা উপস্থাপিত করা কঠিন। পাঠক কার্ডবোর্ডের সাহায্যে রম্ব্‌-এর বিভিন্ন মডেল তৈয়ারী করে দেখতে পারেন।

মৌলিক ছেদ (Principal section): পূর্বে বলা হয়েছে, সমান্তরাল বিপরীত তলবিশিষ্ট কোনও দ্বৈত প্রতিসারক কেলাসের ঐ দুই

চিত্র ৭৪

বিপরীত তলের সঙ্গে লম্ব যে তলে কেলাসের আলোক-অক্ষ অবস্থিত হয় তাকে ঐ কেলাসের একটি মৌলিক ছেদ বলে। সমান বিপরীত সামান্তরিক তলবিশিষ্ট কোনও ক্যালসাইট রম্ব্‌-এর ঐ দুই তলের সঙ্গে লম্ব মৌলিক ছেদ দুই বিপরীত সামান্তরিকের যে কোনওটির হ্রস্বতর কর্ণের (shorter diagonal) সমান্তরাল হবে। ৭৪-তম চিত্রে ALBF এইরকম একটি প্রান্ততল। এই তলের হ্রস্বতর কর্ণ AB-র সমান্তরাল তীরচিহ্নিত রেখাটি মৌলিক ছেদের দিক নির্দেশ করছে। ঐ রেখার সঙ্গে সমান্তরাল এবং

ALBF (বা DGCH) তলের সঙ্গে লম্ব যে কোনও তলই এক্ষেত্রে মৌলিক ছেদ হবে। যেমন ABCD তলটি এই উভয় বিপরীত তলের সঙ্গে লম্ব এবং AB-র সমান্তরাল, সুতরাং ABCD তলটি একটি মৌলিক ছেদ।

চিত্র ৭৫

৫·২ ক্যালসাইট কেলাসে দ্বৈত প্রতিসরণ :

মনে করা যাক, ABCD একটি ক্যালসাইট রম্ব্-এর কোনও মৌলিক ছেদ এবং AX আলোক-অক্ষ। রম্ব্‌টির AB তলের উপর একটি সূক্ষ্ম ও

চিত্র ৭৬

সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ PQ লম্বভাবে আপতিত হয়েছে। এক্ষেত্রে প্রতিসৃত O-রশ্মি এবং E-রশ্মি QO ও QE উভয়ই মৌলিক ছেদ ABCD তলে অবস্থিত হবে। সুতরাং ABCD তলকে উভয় রশ্মিরই মূলতল (principal plane) বলা যায়। কোনও বিশ্লেষক দ্বারা পরীক্ষা করলে দেখা যাবে O-রশ্মির আলোকের কম্পন মূলতলের লম্ব এবং E-রশ্মির আলোকের কম্পন মূলতলের সঙ্গে সমান্তরাল। এই কম্পনগুলির দিক যথাক্রমে ডট্ ও ড্যাশ্-এর দ্বারা চিহ্নিত হয়েছে।

ত্রিমাত্রিক ৭৪-তম চিত্রে যদি DGCH তলটি DC প্রান্তের প্রান্ততল হয় তাহ'লে নির্গত O- এবং E-রশ্মিকে কোনও দর্শক দেখলে তার কাছে ঐ রশ্মি দুটির আলোকের কম্পন যেমন মনে হবে তা যথাক্রমে O এবং E চিহ্নিত স্থানে দেখানো হয়েছে।

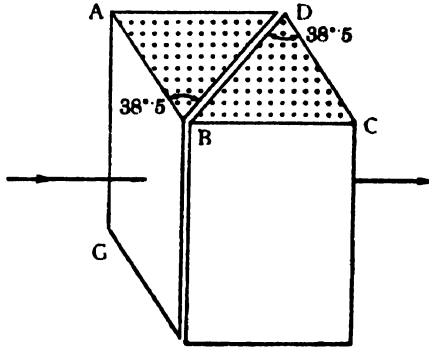
ক্যালসাইট কেলাসের সাহায্যে সমবর্তক প্রস্তুতি

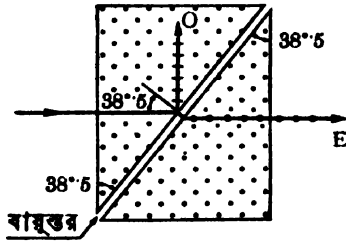
৫·৩ মূলনীতি :

ক্যালসাইট কেলাসের μ_o এবং μ_e-র মান যথাক্রমে 1·658 এবং 1·486। এই দুটি প্রতিসরাঙ্কের লক্ষণীয় ব্যবধানের জন্যে O-রশ্মি এবং E-রশ্মি পরস্পর থেকে বেশ অধিক পরিমাণে বিচ্যুত হয়। এই ধর্মকে ব্যবহার ক'রে আমরা যদি O-রশ্মি ও E-রশ্মিকে পৃথক করতে পারি তা হ'লে প্রত্যেক প্রকারের রশ্মি (বা রশ্মিগুচ্ছ) সমবর্তিত আলোক দ্বারা গঠিত হবে। কিন্তু এখানে প্রধান অসুবিধা হচ্ছে—যত সূক্ষ্ম রশ্মিগুচ্ছ নেয়া যাক-না কেন, O-রশ্মি এবং E-রশ্মির মধ্যে বিচ্যুতি খুব সামান্য হয় এবং তাদের মধ্যে কিছুটা উপরিস্থাপনের (superposition) জন্য তারা মিশে যায়। কেলাসটিকে খুব বড় দৈর্ঘ্যের নিলে এই ব্যবধানকে বাড়ানো যায় বটে, কিন্তু বড় দৈর্ঘ্যের কেলাস তৈয়ারী করা কঠিন এবং ব্যয়সাধ্য। সেইজন্যে নানা উপায়ে O-রশ্মি ও E-রশ্মির মধ্যে একটির সঞ্চালনে বাধা সৃষ্টি ক'রে অপরটিকে সঞ্চালিত করা হয়। এই নীতির উপরেই গ্ল্যান-ফুকো (Glan-Foucault) প্রিজ্‌ম্ এবং নিকল (Nicol) প্রিজ্‌ম্ নির্মিত হয়।

৫·৪ গ্ল্যান-ফুকো প্রিজ্‌ম্ :

গ্ল্যান ও ফুকো উদ্ভাবিত এই প্রিজ্‌মে একটি ক্যালসাইট প্রিজ্‌ম্‌কে প্রথমে এমনভাবে কাটা হয় যে, দুটি প্রান্ততল কিনারার (edge) সঙ্গে লম্ব হয় এবং আলোক-অক্ষ কিনারার সমান্তরাল ও প্রান্ততল দুটির লম্ব হয়। এই কাটা রম্ব্‌-টির প্রান্ততলগুলির প্রত্যেকে আয়তক্ষেত্র হয় এবং তাদের সন্নিহিত বাহুগুলির দৈর্ঘ্যের একটি নির্দিষ্ট অনুপাত রাখা হয়। এই অনুপাতটি এমন হয় যে, ABCD প্রান্তকে BD কর্ণ দ্বারা দুটি ত্রিভুজে ভাগ করলে সূক্ষ্ম কোণ দুটির একটি 38·5° এবং অপরটি 51·5° হয়। এখন এই DB কর্ণগামী এবং কিনারা AG-র সমান্তরাল একটি তল বরাবর রম্ব্‌-টিকে দু-টুকরো ক'রে ফেলা হয়। প্রত্যেক টুকরো 38·5° শিরঃকোণবিশিষ্ট একটি

প্রিজ্‌ম্‌ হয়। কাটা তল দুটিকে আলোকের সূক্ষ্মতায় (optically) পালিশ ক'রে প্রিজ্‌ম্‌ দুটিকে একটি কাঠামোর মধ্যে এমনভাবে রাখা হয় যাতে কাটা

চিত্র ৭৭

তল দুটি পরস্পর সমান্তরালভাবে সামান্য ব্যবধানে থাকে। তাদের মাঝখানে থাকে একটু বায়ুস্তর। এইভাবে গ্ল্যান-ফুকো প্রিজ্‌ম্‌ তৈয়ারী করা হয়।

চিত্র ৭৮

কার্যপ্রণালী : ৭৮-তম চিত্র থেকে প্রিজ্‌ম্‌টির ক্রিয়া বুঝতে পারা যাবে। মনে করা যাক, প্রিজ্‌ম্‌টির উপর লম্বভাবে কোনও সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ পড়েছে। রশ্মিগুচ্ছ ক্যালসাইটের ভিতরে অবিচ্যুতভাবে অগ্রসর হবে। কিন্তু রশ্মিগুচ্ছটি এখানে আলোক-অক্ষের সঙ্গে লম্বভাবে অগ্রসর হওয়ায় উহা O-তরঙ্গ ও E-তরঙ্গে বিশ্লিষ্ট হবে অর্থাৎ বিভিন্ন কম্পনতল ও বিভিন্ন বেগবিশিষ্ট দুটি তরঙ্গে পরিণত হবে। এই উভয় রশ্মিই

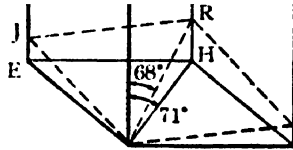
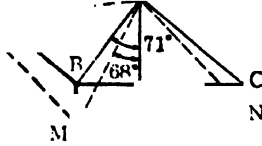
ক্যালসাইট ও বায়ুর বিভেদতলে 38·5° কোণে আপতিত হবে। কিন্তু ক্যালসাইটে μ_o ও μ_e-র মান যথাক্রমে 1·658 ও 1·486। সুতরাং $\sin\ \theta_c = \frac{1}{\mu}$ সূত্র অনুসারে O-রশ্মি ও E-রশ্মির ক্ষেত্রে সঙ্কট কোণের মান পাওয়া যাবে যথাক্রমে 37° ও 42° 6′। সুতরাং O-রশ্মির আপতন কোণ সঙ্কট কোণ অপেক্ষা বৃহত্তর হওয়ায় তার আন্তঃ পূর্ণ প্রতিফলন হবে। কিন্তু E-রশ্মির আন্তঃ পূর্ণ প্রতিফলন হবে না। ঐ রশ্মির প্রতিসৃত অংশ বায়ুর স্তর ভেদ করে অবিচ্যুত পথে অগ্রসর হয়ে বিপরীত তল থেকে নির্গত হবে। এই E-রশ্মির কম্পন আলোক-অক্ষের সমান্তরাল হবে এবং নির্গত E-রশ্মিগুচ্ছ সমবর্তিত আলোক হবে।

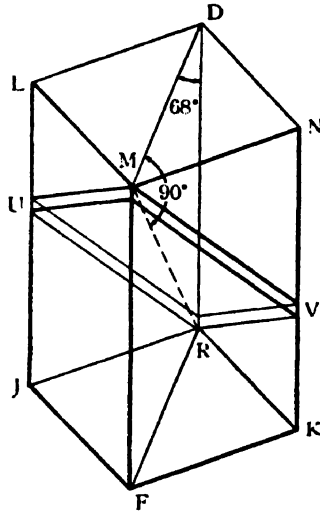
গ্ল্যান-ফুকো প্রিজ্‌মে প্রধান অসুবিধা হচ্ছে বায়ুস্তরের উভয় দিকে দু-বার প্রতিফলনের জন্যে E-রশ্মিরও কিছু অংশ বাধাপ্রাপ্ত হয়। তা ছাড়া E-রশ্মির পূর্ণ আন্তঃ প্রতিফলন না হলেও আংশিক প্রতিফলনে কোনও বাধা নেই। তার ফলে নির্গত আলোকের তীব্রতা কম হয়।

৫·৫ নিকল প্রিজ্‌ম্ঃ

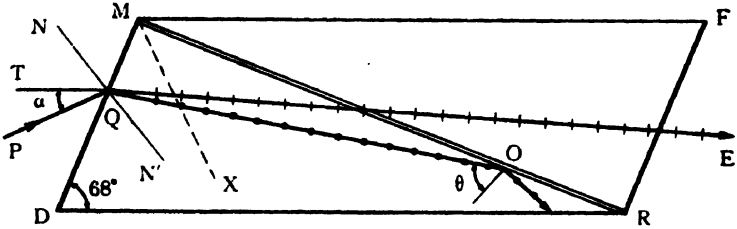
কোনও দ্বৈত প্রতিসারক মাধ্যমে প্রতিসৃত O-রশ্মি এবং E-রশ্মি উভয়েই সমবর্তিত আলোক। তাদের একটিকে অবরোধ ক'রে যদি অপরটিকে মাধ্যম থেকে নির্গত হতে দেওয়া হয়, তাহ'লে ঐ নির্গত আলোক সমবর্তিত হবে। এই নীতি প্রয়োগ ক'রে উইলিয়াম নিকল 1828 খৃষ্টাব্দে তাঁর নামে পরিচিত নিকল প্রিজ্‌ম্ (বা নিকল) উদ্ভাবন করেন।

নিকলের গঠনঃ প্রস্থের তুলনায় তিনগুণ দৈর্ঘ্যবিশিষ্ট একটি ক্যালসাইম্ রম্ব্ নিয়ে প্রথমে তার দুটি প্রান্ততল ABCD ও EFGH-এর দিক থেকে তেরছাভাবে দুটি চাকলা কেটে ফেলতে হবে। এই কাটার পদ্ধতি ৭৯-তম চিত্রে দেখানো হয়েছে। এমনভাবে কাটতে হবে, যাতে কর্ণ বরাবর DMFR ছেদটির সূক্ষ্মকোণ দুটির প্রত্যেকটি 68° হয়। এখন দুটি বিপরীত শীর্ষ M ও R বিন্দুগামী একটি MURV তল বরাবর রম্ব্-টিকে দু-টুকরো ক'রে ফেলতে হবে যাতে ঐ তলটি DM কর্ণের সঙ্গে লম্ব হয়। তারপর ঐ দুটি কর্তিত তলকে আলোকের সূক্ষ্মতায় পালিশ করে কানাডা বালসাম (Canada balsam) নামক স্বচ্ছ জোড়া-লাগানো আঠার সর্বত্র সমান পুরু একটি স্তরের সাহায্যে জুড়ে দেওয়া হবে। এখন এই

রম্বের পার্শ্বতলগুলিতে কালো রঙের প্রলেপ দিয়ে একটি উপযুক্ত কালো-রঙ-করা খাপের মধ্যে রম্ব্-টি রাখা হবে, যার দুটি প্রান্ত উন্মুক্ত থাকে।

চিত্র ৭৯

প্রথমে দু-প্রান্ত কাটার পদ্ধতি।

চিত্র ৮০

MURV তল বরাবর কাটার পদ্ধতি।

প্রত্যেক প্রান্তে ক্ষুদ্রতর কর্ণ DM এবং FR-এর দিক তীরচিহ্নিত রেখা দিয়ে চিহ্নিত করা থাকে। এই হচ্ছে নিকল প্রিজ্‌ম্। এর যে কোনও প্রান্তের ক্ষুদ্রতর কর্ণের এবং প্রিজ্‌ম্-এর ধারগুলির সমান্তরাল একটি একটি তল কল্পনা করলে তাই হবে একটি মৌলিক ছেদ।

চিত্র ৮১
নিকলের মৌলিক ছেদ ; MX আলোক-অক্ষ।

ক্রিয়া : নিকলের একটি মৌলিক ছেদ DMFR নেওয়া হ'ল। PQ রশ্মিটি এমনভাবে আপতিত যে, তার আপতন তলও DMFR। রশ্মিটি QO এবং QE অর্থাৎ যথাক্রমে O-রশ্মি ও E-রশ্মিতে বিশ্লিষ্ট হ'ল। এই দুটি রশ্মিই কানাডা বালসাম স্তর MR-এর উপর আপতিত হল। এখন সোডিয়ামের D লাইনের ক্ষেত্রে ক্যালসাইটের দুটি প্রতিসরাঙ্কের মান :

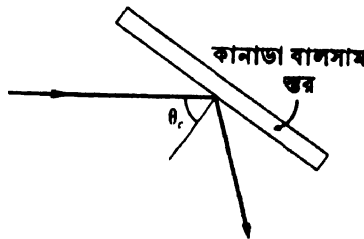
$$\mu_o = 1{\cdot}658 \text{ এবং } \mu_e = 1{\cdot}486$$

কিন্তু কানাডা বালসাম দ্বৈত প্রতিসারক নয় এবং D লাইনের ক্ষেত্রে তার প্রতিসরাঙ্ক, $\mu_{ob} = 1{\cdot}55$।

সুতরাং দেখা যাচ্ছে $\mu_o > \mu_{cb}$, অর্থাৎ O-রশ্মির ক্ষেত্রে ক্যালসাইটের তুলনায় কানাডা বালসাম লঘু মাধ্যম। অতএব যদি কানাডা বালসামের উপর O-রশ্মির আপতন কোণ উভয় মাধ্যমের সঙ্কট কোণের চেয়ে বড় হয়, তাহ'লে O-রশ্মির আন্তঃ পূর্ণ প্রতিফলন হবে। এখন নিকল প্রিজ্‌ম্-এর গঠনই এমন যে MF প্রান্তের সঙ্গে প্রায় 14° পর্যন্ত কোণে আনত যে কোনও আপতিত রশ্মির ক্ষেত্রে O-রশ্মি কানাডা বালসাম স্তরে সঙ্কট কোণ অপেক্ষা বৃহত্তর কোণে আপতিত হয় (এই গণনা পরে একটি উদাহরণে দেখানো

হয়েছে)। সুতরাং MF বা TQ-এর সঙ্গে সমান্তরাল থেকে সুরু করে প্রায় 14° কোণে আনত সমস্ত রশ্মির ক্ষেত্রে O-রশ্মি MR স্তরে পূর্ণ আন্তঃ প্রতিফলিত হয়ে ফিরে আসবে এবং কালো প্রলেপের দ্বারা সম্পূর্ণ শোষিত হবে।

কিন্তু E-রশ্মির ক্ষেত্রে $\mu_e < \mu_{ob}$, সুতরাং কানাডা বালসাম গুরু মাধ্যমের কাজ করবে এবং পূর্ণ আন্তঃ প্রতিফলনের কোনও সম্ভাবনা থাকবে না। অতএব E-রশ্মি সমান্তরাল কানাডা বালসাম স্তর ভেদ ক'রে FR প্রান্ত দিয়ে নির্গত হবে। এই রশ্মির আলোক সমবর্তিত এবং তার কম্পন মৌলিক ছেদের সঙ্গে সমান্তরাল। আপতিত রশ্মি যদি MF প্রান্তের সমান্তরাল হয়, তাহলে E-রশ্মির ক্ষেত্রে কম্পন যে কোনও প্রান্তের ক্ষুদ্রতম কর্ণের সমান্তরাল হবে। এইভাবে নিকল প্রিজ্‌ম্ সমবর্তকের কাজ করে। আবার যদি কোনও সমবর্তিত আলোক নিকলের উপর পড়ে, তাও দুটি পরস্পর লম্ব কম্পনে বিশ্লিষ্ট হবে এবং মৌলিক ছেদের সঙ্গে সমান্তরাল কম্পনবিশিষ্ট বিশ্লেষিতাংশ অর্থাৎ E-উপাংশ প্রিজ্‌ম্ দ্বারা সঞ্চালিত হবে। এইজন্য নিকলের মৌলিক ছেদকে সঞ্চালন তল (transmission plane) বলা হয়। তার সঙ্গে লম্ব যে কোনও কম্পন নিকলের দ্বারা সম্পূর্ণ বাধাপ্রাপ্ত হবে।

উদাহরণ ঃ নিকলের মধ্যে O-রশ্মির সঙ্কট কোণের মান নির্ণয় কর। দেখাও যে নিকলের সাম্যতা অক্ষের সঙ্গে প্রায় 14° কোণে আনত রশ্মির ক্ষেত্রেও O-রশ্মি সম্পূর্ণ আন্তঃ প্রতিফলিত হবে। [উপাত্ত ঃ $\mu_o = 1.66$, $\mu_e = 1.49$, $\mu_{ob} = 1.55$]

চিত্র ৮২

সার্বিক স্নেলের সূত্র থেকে আমরা জানি, দুটি মাধ্যমের মধ্যে প্রতিসরণের ক্ষেত্রে,

$$\mu_1 \sin \theta_1 = \mu_2 \sin \theta_2$$

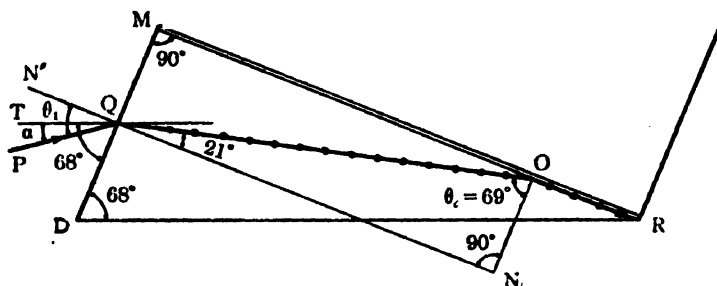
আলোচ্য ক্ষেত্রে, $\mu_1 = 1{\cdot}66$, $\mu_2 = 1{\cdot}55$, $\theta_2 = 90°$, $\theta_1 = \theta_c$

সুতরাং $1{\cdot}66 \sin \theta_c = 1{\cdot}55 \times \sin 90° = 1{\cdot}55$

বা $\sin \theta_c = \dfrac{1{\cdot}55}{1{\cdot}66} = 0{\cdot}9337 = \sin 69°$

$\therefore \quad \theta_c = 69°$

চিত্র থেকে দেখা যাচ্ছে, O-রশ্মি θ_c-কোণে কানাডা বালসাম স্তরে

চিত্র ৮৩

আপতিত হ'লে তার ক্যালসাইটে প্রবেশের সময় প্রতিসরণ কোণ 21°, কারণ QON ত্রিভূজটি সমকোণী। 21° অপেক্ষা বৃহত্তর কোণে O-রশ্মি প্রবেশ করলে ∠QON সঙ্কট কোণ অপেক্ষা ক্ষুদ্রতর হবে এবং তার পূর্ণ প্রতিফলন হবে না। সুতরাং 21° হচ্ছে বৃহত্তম প্রবেশ-কোণ এবং এই কোণের সংশ্লিষ্ট আপতন কোণ θ_1 বৃহত্তম আপতন কোণ ধরতে হবে।

এখন PQ রশ্মির ক্ষেত্রে Q বিন্দুতে স্নেলের সূত্র প্রয়োগ করলে :

$$\mu_1 \sin \theta_1 = \mu_2 \sin 21°$$

এখানে $\mu_1 = 1$ (বায়ু) ; $\mu_2 = \mu_o = 1{\cdot}66$

$$\therefore \quad \sin \theta_1 = 1{\cdot}66 \sin 21° = 1{\cdot}66 \times 0{\cdot}3584 = 0{\cdot}5889 = \sin 36°\ 5'$$

$\therefore \quad \theta_1 = 36°\ 5'$

কিন্তু চিত্র থেকে দেখা যাচ্ছে :

$\theta_1 + (68° - \alpha) = 90°$, বা $36°\ 5' + 68° - \alpha = 90°$

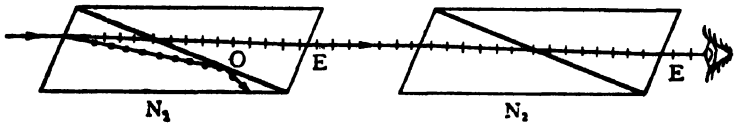
$\therefore \quad \alpha = 14°\ 5'$

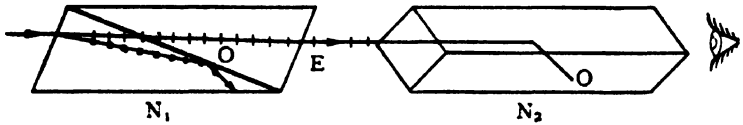
চিত্রে TQ রেখা MF-এর সমান্তরাল, সুতরাং নিকলের সাম্যতা অক্ষের দিক নির্দেশ করছে। অতএব সাম্যতা অক্ষের সঙ্গে সর্বোচ্চ $14° 5'$ কোণে আপতিত রশ্মির ক্ষেত্রেও O-রশ্মি পূর্ণ আন্তঃ প্রতিফলিত হবে। আলোক-রশ্মি মৌলিক ছেদ DMFR-এ অবস্থিত না হ'লেও কানাডা বালসাম স্তরের ছেদ সর্বদা DM-এর সঙ্গে লম্ব এবং O-রশ্মির ক্ষেত্রে এই যুক্তি প্রযোজ্য।

[**দ্রষ্টব্য :** আর একটি কথাও এখানে উল্লেখযোগ্য। নিকলের কার্যপ্রণালী আলোচনার সময়ে $\mu_e = 1·486$ ধরে নেওয়া হয়েছে। কিন্তু রশ্মি আলোক-অক্ষের সমকোণে অগ্রসর হলেই এই মান প্রযোজ্য। প্রকৃতপক্ষে E-তরঙ্গের ছেদ নির্দেশক উপবৃত্তটি কল্পনা করলে E-রশ্মির বিভিন্ন দিক অনুসারে E-তরঙ্গের বেগ পরিবর্তিত হয় এবং E-রশ্মি দ্বারা নির্ণীত μ-এর মান 1·486 থেকে 1·658 পর্যন্ত পরিবর্তিত হয়। নিকল প্রিজ্‌মে E-রশ্মি যত আলোক-অক্ষের সমান্তরালতার দিকে ঝুঁকবে তত μ-এর মান 1·658-এর নিকটতর হবে। সুতরাং ঐ মান যখন কানাডা বালসামের μ অর্থাৎ 1·55-এর চেয়ে বেশী হবে এবং কানাডা বালসাম স্তরে আপতিত E-রশ্মির আপতন কোণও আলোচ্য ক্ষেত্রের সঙ্কট কোণকে অতিক্রম করবে, তখন E-রশ্মিও কানাডা বালসাম স্তরে পূর্ণ প্রতিফলিত হবে। দেখা যাবে নিকলের সাম্যতা অক্ষ TQ-র সঙ্গে উপরের দিকে (M-এর দিকে) $14°$ অপেক্ষা বেশী কোণে আনত রশ্মির ক্ষেত্রে এইরকম E-রশ্মিরও পূর্ণ আন্তঃ প্রতিফলন ঘটবে। সুতরাং বলা যায়, নিকল প্রিজ্‌মের গঠন এমন যে তার সাম্যতা-অক্ষের সঙ্গে $14°$ অর্ধ-শিরঃকোণবিশিষ্ট একটি শঙ্কুর আকারের রশ্মিগুচ্ছের সমস্ত রশ্মির ক্ষেত্রেই নিকলের ক্রিয়া কার্যকর হবে। আলোক-রশ্মির আপতন তল যদি একটি মৌলিক ছেদ নাও হয়, অর্থাৎ যদি আলোক-অক্ষ আপতন তলে নাও থাকে, তথাপি O-রশ্মির ক্ষেত্রে পূর্বের সমস্ত যুক্তিই প্রযোজ্য হবে। কারণ O-রশ্মির সর্বদাই আপতন তলে অবস্থান করে।]

সম ও বিষম অবস্থানে নিকল-যুগল (Parallel and crossed Nicols) :

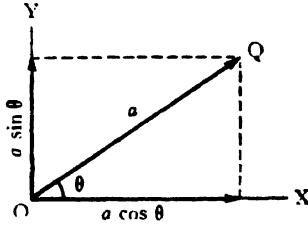
আমরা জানি, যে কোনও সমবর্তক আলোকের বিশ্লেষক হিসাবেও কাজ করতে পারে। সুতরাং অসমবর্তিত আলোকের একটি রশ্মির পথে পর পর দুটি নিকল N_1 এবং N_2-কে রাখলে, প্রথমটিকে সমবর্তক এবং দ্বিতীয়টিকে বিশ্লেষক বলা হয়। নিকলের মৌলিক ছেদের সঙ্গে O-রশ্মি এবং E-রশ্মির

মুলতল দুটি একই তলে অবস্থিত হ'লে উভয় রশ্মিই মৌলিক ছেদে অবস্থিত হবে। আপতন তল মৌলিক ছেদে অবস্থিত হ'লেই এই ঘটনা ঘটে। এক্ষেত্রে E-রশ্মির আলোকের কম্পন মৌলিক ছেদের সমান্তরাল এবং O-রশ্মির আলোকের কম্পন মৌলিক ছেদের সমকোণে হয়। নিকলের কানাডা বালসাম স্তরে O-রশ্মি পূর্ণ প্রতিফলিত হয়ে ফিরে আসে, কিন্তু E-রশ্মি বিনা বাধায় নির্গত হয়। সুতরাং মৌলিক ছেদকে এক্ষেত্রে নিকলের সঞ্চালন তল বলা যায়।

চিত্র ৮৪

দুটি নিকলের সম অবস্থান।

চিত্র ৮৫

দুটি নিকলের বিষম অবস্থান।

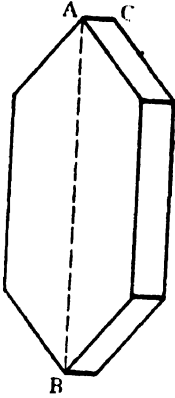
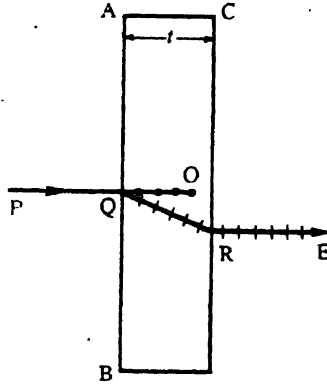
দুটি নিকলের সঞ্চালন তল যদি সমান্তরাল হয় তাহ'লে সমবর্তিত E-রশ্মি দ্বিতীয়টি দ্বারাও সম্পূর্ণ সঞ্চালিত হবে। এই পারস্পরিক অবস্থানকে নিকল দুটির সম বা সমান্তরাল অবস্থান বলা হয়। প্রথম চিত্রে এই অবস্থান দেখানো হয়েছে। কিন্তু যদি দুটি নিকলের সঞ্চালন তল পরস্পর লম্ব হয় তাহ'লে কোনও আলোকই দ্বিতীয়টি ভেদ ক'রে নির্গত হবে না। এই পারস্পরিক লম্ব অবস্থানকে নিকল দুটির বিষম অবস্থান বলে (৮৫-তম চিত্র দ্রষ্টব্য)। এদের মাঝামাঝি যে কোনও পারস্পরিক আনতিতেও দুটি নিকল থাকতে পারে। তখন ধরা যাক, তাদের সঞ্চালন তল দুটির আনতি কোণ θ, সেক্ষেত্রে প্রথম নিকল দ্বারা নির্গত আলোক-ভেক্টরের $\cos\theta$ উপাংশ দ্বিতীয় নিকল দ্বারা সঞ্চালিত হবে। ধরা যাক, N_1 নিকলটির সঞ্চালন তল OQ এবং N_1 দ্বারা নির্গত আলোক-ভেক্টরের বিস্তার (amplitude) a; দ্বিতীয় নিকলের সঞ্চালন তল OX এবং $\angle XOQ = \theta$। সুতরাং N_2

নিকল দ্বারা OX-এর দিকে উপাংশ $a \cos \theta$ সঞ্চালিত হবে, কিন্তু OY-এর দিকের উপাংশ $a \sin \theta$ সম্পূর্ণ বাধাপ্রাপ্ত হবে। অর্থাৎ N_2 দ্বারা নির্গত আলোকের তীব্রতা (intensity) $a^2 \cos^2 \theta$-র সঙ্গে সমানুপাতী হবে। ম্যালাসের সূত্রে এই কথাই বলা হয়েছে।

চিত্র ৮৬

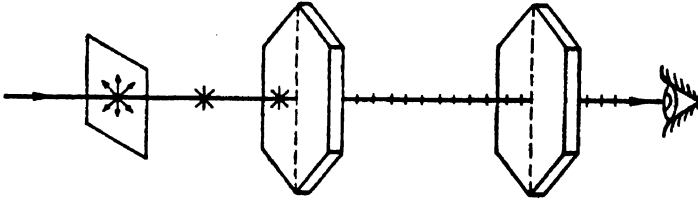
নিকল ও গ্ল্যান-ফুকো প্রিজ্‌মের তুলনা : গ্ল্যান-ফুকো প্রিজ্‌ম্ তৈয়ারী করা সহজ, কানাডা বালসামের মতো কোনও জোড়া-লাগানো সিমেণ্টের প্রয়োজন হয় না। গঠনও নিকলের তুলনায় সরল ধরনের। কিন্তু গ্ল্যান-ফুকো প্রিজ্‌মের প্রধান অসুবিধা হচ্ছে বায়ুস্তরে E-রশ্মির অনেকাংশ প্রতিফলিত হয়, যদিও আন্তঃ পূর্ণ প্রতিফলন হয় না। কিন্তু নিকল প্রিজ্‌মে কানাডা বালসাম স্তর থাকায় ক্যালসাইট ও কানাডা বালসামের মধ্যে প্রতিফলন খুব কম হয় এবং E-রশ্মির তীব্রতা তত হ্রাস পায় না। এক্ষেত্রে O-রশ্মির সঙ্কট কোণ 69° এবং গ্ল্যান-ফুকো প্রিজ্‌মের তুলনায় অনেক বড়। সেইজন্য নিকল প্রিজ্‌মের প্রান্ততলকে বিশেষভাবে আনত করে কাটতে হয়। নিকল প্রিজ্‌মে 28° শীর্ষকোণ বিশিষ্ট অভিসারী আলোকের শঙ্কু আপতিত হ'লেও চলে। কিন্তু গ্ল্যান-ফুকো প্রিজ্‌মে প্রান্ততলের সঙ্গে লম্ব রশ্মি নেওয়াই প্রয়োজন। কারণ সঙ্কট কোণ মাত্র 37° এবং লম্ব রশ্মির ক্ষেত্রেও বায়ুস্তরে আপতন কোণ 38·5°।

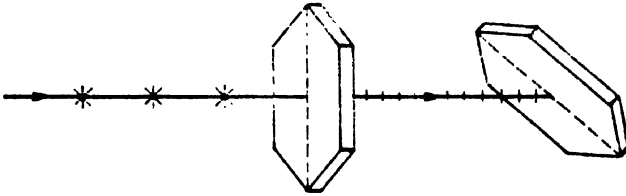
৫·৬ দ্বিরাগত্ব বা ডাইক্রোইজ্‌ম্ (Dichroism) :

কতকগুলি দ্বৈত প্রতিসারক কেলাসের একটি বিশেষ ধর্ম থাকে। তারা সাধারণ ও ব্যতিক্রান্ত রশ্মির একটিকে শোষণ করে নেয় কিন্তু অপরটি কেলাস থেকে নির্গত হয়। এইজাতীয় কেলাসগুলি সমর্বতক হিসাবে কাজ করতে পারে। টুরমালিন, হেরাপাথাইট প্রভৃতি দ্বিরাগীয় (dichroic) কেলাস।

টুরমালিন (Tourmaline): টুরমালিন নানারকম ধাতব অক্সাইডের মিশ্রণে প্রস্তুত একরকম কেলাস। এর রঙ ফিকে বেগুনী এবং স্বাভাবিক গঠন ষড়্‌ভুজাকৃতি (hexagonal)। প্রথম চিত্রে একটি টুরমালিন এবং দ্বিতীয়

চিত্র ৮৭
টুরমালিন কেলাস।

চিত্র ৮৮
O-রশ্মির শোষিত-হওয়া।

চিত্রে তার মৌলিক ছেদ দেখানো হয়েছে। প্রস্থচ্ছেদের বৃহত্তম কর্ণ AB এর কেলাস-অক্ষ এবং আলোক-অক্ষের দিক নির্দেশ করছে। টুরমালিন প্রকৃতপক্ষে দ্বৈত প্রতিসারক কেলাস। সুতরাং তার ভিতরে একটি অসমবর্তিত আলোক-রশ্মি PQ প্রবেশ করা মাত্র O-রশ্মি ও E-রশ্মিতে বিশ্লিষ্ট হয়ে যাবে। কিন্তু টুরমালিনের দ্বিরাগীয় ধর্মের জন্য O-রশ্মি 1·5 থেকে 2·0 মিলিমিটারের মধ্যে সম্পূর্ণ শোষিত হবে। E-রশ্মি কিন্তু কেলাস থেকে বিনা বাধায় নির্গত হবে। E-রশ্মি নির্দিষ্ট দিকে কম্পন-বিশিষ্ট (এক্ষেত্রে মৌলিক ছেদের সমান্তরাল কম্পন-বিশিষ্ট) সমবর্তিত আলোক। সুতরাং টুরমালিন কেলাস অসমবর্তিত PQ রশ্মির আলোক থেকে সমবর্তিত আলোক উৎপন্ন করে। আবার আলোক-অক্ষ AB-র সঙ্গে লম্ব কম্পন বিশিষ্ট যে কোনও সমবর্তিত আলোককে টুরমালিন কেলাস তার দ্বিরাগত্ব ধর্মের জন্য শোষণ করে নেয়। কোনও সমবর্তিত আলোকের কম্পন যদি টুরমালিন কেলাসের সঞ্চালন তলের সঙ্গে θ কোণে আনত থাকে তাহ'লে ঐ আলোক-ভেক্টরের $\cos\theta$ উপাংশ কেলাসটি দ্বারা সঞ্চালিত হবে। পূর্বে

টুরমালিনের ব্যবহার সম্বন্ধে যা বলা হয়েছে, এখন এই কেলাসের দ্বিরাগত্ব ধর্মের পরিপ্রেক্ষিতে তা বুঝতে পারা যাবে। সমান্তরাল ও বিষম অবস্থানে রাখা একজোড়া টুরমালিন ও তাদের ক্রিয়া চিত্রে দেখানো হ'ল।

চিত্র ৮৯

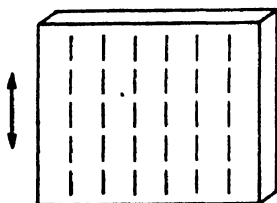
সমান্তরাল অবস্থানে দুটি টুরমালিন।

চিত্র ৯০

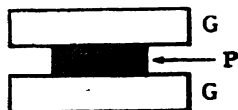
বিষম অবস্থানে দুটি টুরমালিন।

পোলারয়েড (Polaroid): আজকাল সমবর্তক ও বিশ্লেষক হিসাবে পোলারয়েডের ব্যবহার খুব প্রচলিত। পোলারয়েড প্রধানত দুই ধরনের: হেরাপাথাইট কেলাস ও আয়োডিন-যুক্ত পলিভিনাইল অ্যালকোহল বা এইচ-পোলারয়েড।

হেরাপাথাইট (Herapathite): 1852 সালে বৃটিশ বিজ্ঞানী হেরাপাথ (Herapath) আয়োডোসালফেট অব্ কুইনিনের ছোট ছোট কেলাস প্রস্তুত করার সাফল্যলাভ করেন। তিনি দেখান এই কেলাসগুলির খুব প্রবল দ্বিরাগত্ব ধর্ম বর্তমান থাকে। অর্থাৎ এরা আলোক-কম্পনকে দুটি পরস্পর লম্ব কম্পনে বিশ্লিষ্ট করার পর তাদের একটি কম্পনকে সম্পূর্ণ শোষণ করে নেয়। কিন্তু অপর কম্পনটি প্রায় শোষিত না হয়ে অগ্রসর হয়।

এদিক থেকে এই কেলাসগুলি বার্ড ও প্যারিশ উদ্ভাবিত পূর্বে আলোচিত তারজালির মতো কাজ করে। কেলাসগুলি দীর্ঘ সূচের আকারের হয় এবং দৈর্ঘ্য বরাবর তড়িৎ-ভেক্টরের পরিবাহিতা অধিক হওয়ায় দৈর্ঘ্যের সঙ্গে সমান্তরাল তড়িৎ-ভেক্টর শোষিত হয়। যদি কেলাসগুলির দৈর্ঘ্যকে সমান্তরালভাবে সাজানো যায় তাহ'লে তাদের এই সজ্জা ঠিক তারজালি-সমবর্তকের মতো কাজ করে। এই কেলাসের আবিষ্কর্তা হেরাপাথের নামানুসারে এদের হেরাপাথাইট কেলাস বলা হয়।

হেরাপাথাইট কেলাসের প্রধান অসুবিধা হচ্ছে তারা অত্যন্ত ক্ষুদ্র আকারের এবং সামান্য চাপেই চূর্ণ হয়ে যায়। 1932 সালে ই. এইচ. ল্যাণ্ড (E. H. Land) এই হেরাপাথাইটের ক্ষুদ্র কেলাসগুলিতে দীর্ঘ রেখায় এবং পরস্পরের সঙ্গে সমান্তরালভাবে সাজানোর একটি অভিনব পন্থা উদ্ভাবন করেন। নাইট্রোসেলুলোজের সঙ্গে আয়োডোসালফেট অব্ কুইনিন মিশিয়ে তিনি একটা প্রায়-কঠিন লেই (paste) প্রস্তুত করেন। এই লেইকে একটি সরু স্লিটের ভিতর দিয়ে চাপ দিয়ে বার করে নিলে আয়োডোসালফেট কেলাসগুলি স্লিটের দৈর্ঘ্য বরাবর নিজেদের বিন্যস্ত করে স্লিটের বিপরীত দিক দিয়ে নির্গত হয়। লেই-টি যে পাতের আকারে নির্গত হয় তার মধ্যে কেলাসগুলি স্লিটের দৈর্ঘ্যের সঙ্গে সমান্তরালভাবে সাজানো থাকে (৯১-তম চিত্র দ্রষ্টব্য)। হাওয়ায়

চিত্র ৯১

সমান্তরালভাবে সজ্জিত হেরাপাথাইট কেলাস।

চিত্র ৯২

J-শীট পোলারয়েড।

শুকিয়ে নিলে পাতটি কঠিন হয়ে যায়। এই পাতের একটি আয়তাকার টুকরো P নিয়ে (চিত্র ৯২) দুখানি কাচের পাত G, G-এর মাঝখানে স্বচ্ছ আঠা দিয়ে জুড়ে দেওয়া হয়। একে একধরনের পোলারয়েড বলে। এগুলি সাধারণতঃ J-শীট (J-sheet) নামে পরিচিত।

H-পোলারয়েড : পোলারয়েডকে সমান্তরাল সরলরেখায় বিন্যস্ত আয়োডিন পরমাণুর তার-ঝাঁঝরি বলা যায়। সমান্তরাল তারের ঝাঁঝরির (grating) মতোই আয়োডিন পরমাণুগুলি তাদের বিন্যাস-রেখার সমান্তরাল তড়িৎ-ভেক্টরকে শোষণ করে নেয়। এই মূলনীতি প্রয়োগ করে ল্যাণ্ড প্লাস্টিক পদার্থের সাহায্যে আর এক শ্রেণীর পোলারয়েড প্রস্তুত করেন। প্লাস্টিক পদার্থের উপর প্রসারণ বল (stretching force) প্রয়োগ করলে তার দীর্ঘ গঠনের অণুগুলি ঐ প্রসারণ বলের অভিমুখ বরাবর নিজেদের বিন্যস্ত করার চেষ্টা করে। একটি সহজ পরীক্ষার সাহায্যে এই ধর্মটি প্রত্যক্ষ করা যায়। এই পরীক্ষার উদ্দেশ্যে একটি বড় পাতলা রবারের পাত নিতে হবে। তার উপর কতকগুলি দেশলাইয়ের কাঠি অবিন্যস্তভাবে ছড়িয়ে দিতে হবে। এখন পাতটির দুইপ্রান্ত ধরে টানলে দেখা যাবে কাঠিগুলি প্রসারণ বলের সঙ্গে সমান্তরাল বা প্রায় সমান্তরালভাবে নিজেদের বিন্যস্ত করছে। কেবল প্রসারণ বলের সঙ্গে লম্বভাবে বিন্যস্ত কাঠিগুলিকে অবশ্য একটুও ঘোরানো যাবে না।

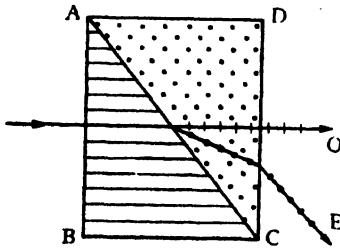
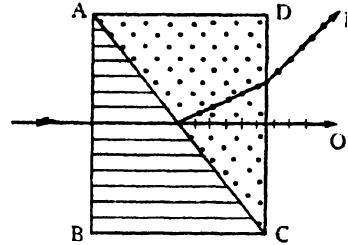
পলিভিনাইল অ্যালকোহল (polyvenyl alcohol) একটি প্লাস্টিক পদার্থ যাকে নরম অবস্থায় টেনে খুব পাতলা পাতে পরিণত করা যায়। ঐ পাতের মধ্যে পলিভিনাইল অ্যালকোহলের দীর্ঘ অণুগুলি প্রসারণ বলের সঙ্গে সমান্তরাল ভাবে নিজেদের বিন্যস্ত করে। সঙ্গে সঙ্গে প্রসারিত ঐ পাতকে সেলুলোজ অ্যাসিটেট জাতীয় কোনও কঠিন পাতের উপর আঠা দিয়ে জুড়ে দেওয়া হয়। এর ফলে আর পাতটি স্থিতিস্থাপকতা ধর্মের সাহায্যে পূর্বের অবস্থায় ফিরে যেতে পারে না এবং অণুগুলির সমান্তরাল বিন্যাস বজায় থাকে। এখন এই পাতকে প্রচুর আয়োডিন পরমাণু আছে এমন কোনও দ্রবণে ডুবিয়ে রাখা হয়। তার ফলে আয়োডিন পরমাণুগুলি দীর্ঘ পলিভিনাইল পরমাণুর রেখার ফাঁকে ফাঁকে ব্যাপন (diffusion) ক্রিয়া দ্বারা প্রবেশ করে। এই-ভাবে আয়োডিন পরমাণুর ঝাঁঝরি (grating) তৈয়ারী হয়। এখন এইভাবে প্রস্তুত পাতগুলিকে প্রয়োজনমতো টুকরা করে কাচের ঢাকনির (cover glass) মধ্যে রাখলেই পোলারয়েড প্রস্তুত হয়। এদের H-পোলারয়েড বা H-শীট (H-sheet) বলে।

৫·৭ দ্বৈত-বিম্ব প্রিজ্‌ম্ (Double image prisms) :

দ্বৈত-প্রতিসারক কোনও কেলাস থেকে নির্গত সাধারণ ও ব্যতিক্রান্ত রশ্মির মধ্যে ব্যবধান সামান্য হয় এবং সেইজন্য নির্গত রশ্মি-দুটিকে প্রায় সমাপতিত মনে হয়। অবশ্য কেলাসের দৈর্ঘ্য খুব বেশী হ'লে এই ব্যবধান

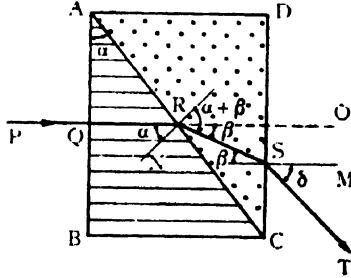
লক্ষণীয় হয়। কিন্তু বড় দৈর্ঘ্যের কেলাস তৈয়ারী করা কঠিন ও ব্যয়সাধ্য। সেই কারণে দুটি ত্রিভুজ-প্রিজ্‌ম্‌কে উপযুক্তভাবে জুড়ে একধরনের চতুষ্কোণ প্রিজ্‌ম্‌ তৈয়ারী করা হয়, যাদের দ্বারা O-রশ্মি ও E-রশ্মির ব্যবধানকে অনেক বাড়িয়ে দেওয়া যায়। এইজাতীয় প্রিজ্‌ম্‌কে দ্বৈত-বিম্ব প্রিজ্‌ম্‌ বলে। দুটি দ্বৈত-বিম্ব প্রিজ্‌ম্‌ সম্বন্ধে এখানে আলোচনা করা হ'ল।

রোকন প্রিজ্‌ম্‌ (Rochon prism)ঃ দুখানি সমান আকারের ত্রিভুজাকৃতি দ্বৈত-প্রতিসারক প্রিজ্‌ম্‌কে তাদের কর্ণতল বরাবর জুড়ে রোকন

চিত্র ৯৩
ক্যালসাইট রোকন।

চিত্র ৯৪
কোয়ার্জ রোকন।

প্রিজ্‌ম্‌ তৈয়ারী করা হয়। সম্পূর্ণ প্রিজ্‌ম্‌টি আয়তাকার প্রিজ্‌ম্‌ হয়। চিত্রে ABC ও ADC দুটি প্রিজ্‌মের প্রস্থচ্ছেদ। এদের B ও D কোণ সমকোণ। ABC প্রিজ্‌মের আলোক-অক্ষ AB-র সঙ্গে লম্ব। কিন্তু ADC প্রিজমের আলোক-অক্ষ ABC-র আলোক-অক্ষের লম্ব। এখন একটি আলোক-রশ্মি AB তলের উপর লম্বভাবে আপতিত হ'লে ABC প্রিজ্‌মে রশ্মির পথ আলোক-অক্ষের সমান্তরাল হবে। সুতরাং ABC প্রিজ্‌মে আলোক-রশ্মির দ্বৈত-প্রতিসরণ হবে না। কিন্তু ACD প্রিজ্‌মে আলোক-অক্ষ আপতন তলের সঙ্গে লম্ব হওয়ায় আলোক-রশ্মি সাধারণ ও ব্যতিক্রান্ত রশ্মিতে বিশ্লিষ্ট হবে এবং তাদের ব্যবধান চরম মানের হবে। O-রশ্মির পথ আলোক-অক্ষের অবস্থানের দ্বারা কিছুমাত্র প্রভাবিত হয় না। সাধারণ অ-দ্বৈতপ্রতিসারক মাধ্যমের ভিতর দিয়ে যেমন, এখানেও তেমন O-রশ্মি পরপর দুটি প্রিজ্‌ম্‌ ভেদ করে অবিচ্যুত পথে অগ্রসর হবে। কিন্তু E-রশ্মির কাছে দ্বিতীয় প্রিজ্‌ম্‌ প্রথম প্রিজ্‌মের তুলনায় পৃথক মাধ্যম হিসাবে কাজ করবে এবং E-রশ্মির প্রতিসরণ ও বিচ্যুতি ঘটবে।

E-রশ্মির কাছে AC তলটি বিভেদতলের মতো কাজ করে। AC তল পর্যন্ত উভয় রশ্মি সমান বেগে এবং একই পথে অগ্রসর হওয়ার পর ACD প্রিজ্‌মে E-তরঙ্গের বেগ পরিবর্তিত হয়। প্রিজ্‌ম্ দুটির উপাদান যদি ক্যালসাইট কেলাসের মতো কোনও নেগেটিভ কেলাস হয় (চিত্র ৯৩), তাহলে $\mu_o > \mu_e$ হবে। সুতরাং E-রশ্মি AC বিভেদতলে গুরু মাধ্যম থেকে লঘু মাধ্যমে প্রবেশ করবে এবং ACD প্রিজ্‌মের শীর্ষ C-র দিকে বিচ্যুত হবে। কিন্তু প্রিজ্‌ম্ দুটির উপাদান কোয়ার্জ-জাতীয় পজিটিভ কেলাস হ'লে (চিত্র ৯৪), $\mu_o < \mu_e$ হবে। সুতরাং E-রশ্মি AC তলে লঘু মাধ্যম থেকে গুরু মাধ্যমে প্রবেশ করবে ACD প্রিজ্‌মে ; E-রশ্মি ভূমি AD-র দিকে বিচ্যুত হবে।

বিচ্যুতি গণনা ঃ কোনও রোকন প্রিজ্‌ম্ দ্বারা O এবং E-রশ্মির বিচ্যুতি সহজে গণনা করা যায়। ধরা যাক, ABC প্রিজ্‌মের A কোণ $= \alpha$,

চিত্র ৯৫
বিচ্যুতি গণনা।

অতএব অভিলম্ব RN-এর সঙ্গে QR রশ্মির আপতন কোণও α হবে।

ধরা যাক ঃ $\alpha + \beta = $ R বিন্দুতে E-রশ্মির প্রতিসরণ কোণ

এবং $\delta = $ S বিন্দুতে E-রশ্মির নির্গমন কোণ।

চিত্র থেকে সহজে বোঝা যাচ্ছে PQ ও SM সমান্তরাল, সুতরাং

δ কোণটিই E-রশ্মির চ্যুতিকোণ এবং সাধারণ ও ব্যতিক্রান্ত রশ্মির কৌণিক ব্যবধান। এখন R বিন্দুতে প্রতিসরণের ক্ষেত্রে :

$$\mu_o \sin\alpha = \mu_e \sin(\alpha+\beta)$$
$$= \mu_e(\sin\alpha\cos\beta + \cos\alpha\sin\beta)$$
$$= \mu_e(\sin\alpha.1 + \cos\alpha.\beta)$$

[যেহেতু β কোণ ছোট হওয়ায়, লেখা যায়, $\cos\beta = 1$ এবং $\sin\beta = \beta$]

বা $$\frac{\mu_o}{\mu_e} = \frac{\sin\alpha + \beta\cos\alpha}{\sin\alpha} = 1 + \beta\cot\alpha$$

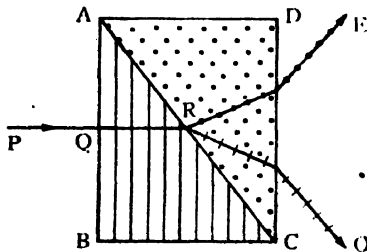
বা $$\frac{\mu_o - \mu_e}{\mu_e} = \beta\cot\alpha$$

বা $$\beta = \frac{\mu_o - \mu_e}{..}\tan\alpha \qquad \text{(i)}$$

আবার S বিন্দুতে প্রতিসরণের ক্ষেত্রে :

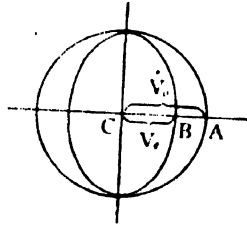
$$\sin\delta = \mu_e\sin\beta = \mu_e\beta \qquad [\because \beta \text{ কোণ ছোট }]$$
$$= (\mu_o - \mu_e)\tan\alpha \qquad [\text{ (i)-এর সাহায্যে }]$$

এই সূত্র থেকে δ-র মান নির্ণয় করা যায়।

উয়োলাস্টন প্রিজ্‌ম্ (Wollaston prism) : এই প্রিজ্‌ম্‌ও দুটি দ্বৈত প্রতিসারক প্রিজ্‌ম্ জুড়ে তৈয়ারী করা হয়। ABC এবং ADC দুটি

চিত্র ৯৬

উয়োলাস্টন প্রিজ্‌ম্।

প্রিজ্‌মের আলোক-অক্ষ পরস্পর লম্ব কিন্তু উভয় আলোক-অক্ষকেই কেলাসের AB ও CD রেখাগামী দুটি বিপরীত তলের সমান্তরাল রাখা হয়। চিত্রে

ABC-র আলোক-অক্ষকে সরলরেখা দ্বারা এবং ACD-র আলোক-অক্ষকে বিন্দু দ্বারা সূচিত করা হয়েছে। PQ রশ্মিটি ABC প্রিজ্‌মে আলোক-অক্ষের সঙ্গে লম্বভাবে প্রবেশ করে, সুতরাং O-তরঙ্গ এবং E-তরঙ্গ বিভিন্ন বেগে কিন্তু অবিচ্যুতভাবে একই দিকে অগ্রসর হয়। O-তরঙ্গের কম্পন মৌলিক ছেদের সঙ্গে লম্ব দিকে এবং E-তরঙ্গের কম্পন মৌলিক ছেদের ও আলোক-অক্ষের সমান্তরাল হবে। R বিন্দুতে যখন দুটি রশ্মি দ্বিতীয় প্রিজ্‌মে প্রবেশ করে তখন রশ্মির কম্পনগুলি তাদের দিক পরিবর্তন করে না, কিন্তু তরঙ্গ এবং রশ্মিগুলি যেন তাদের বেগের আদানপ্রদান করে। কারণ দ্বিতীয় প্রিজ্‌মে আলোক-অক্ষ প্রথম প্রিজ্‌মের আলোক-অক্ষের সঙ্গে লম্ব হওয়ায়, O-কম্পনগুলি

চিত্র ৯৭

পজিটিভ কেলাসের তরঙ্গতল।

দ্বিতীয় প্রিজ্‌মে E-কম্পন এবং E-কম্পনগুলি O-কম্পনে রূপান্তরিত হয়। সুতরাং দুটি রশ্মি R বিন্দুতে পরস্পরের বিপরীত দিকে বিচ্যুত হয়। দ্বিতীয় প্রিজ্‌মে CD তলে বায়ুতে নির্গত হওয়ার সময়ে তারা আরও উভয়দিকে বিচ্যুত হয়। পজিটিভ কোয়ার্জ কেলাস দ্বারা তৈয়ারী উয়োলাস্টন প্রিজ্‌মে O-রশ্মি এবং E-রশ্মির বিচ্যুতি চিত্রে দেখানো হয়েছে। এখানে রশ্মিদুটিকে দ্বিতীয় প্রিজ্‌ম্ অনুসারে O-রশ্মি এবং E-রশ্মি বলা হয়েছে। আলোক-অক্ষের লম্ব দিকে উভয় রশ্মিই উয়োলাস্টনের মধ্যে অগ্রসর হয়। পজিটিভ কেলাসে $V_e < V_o$, অতএব $\mu_e > \mu_o$, অর্থাৎ দ্বিতীয় প্রিজ্‌মে E-রশ্মি যেন লঘু থেকে গুরু মাধ্যমে প্রবেশ করে। সুতরাং ঐ E-রশ্মি ACD প্রিজ্‌মের ভূমির দিকে বিচ্যুত হয়। অনুরূপ যুক্তি অনুসরণ করে বলা যায় O-রশ্মি ACD প্রিজ্‌মের শীর্ষের দিকে বিচ্যুত হয়।

রোকন ও উয়োলাস্টন প্রিজ্‌মের ব্যবহার: নিকল প্রিজ্‌মে

কানাডা বালসাম স্তরের সাহায্যে অবশ্য O-রশ্মিকে সম্পূর্ণ বন্ধ করে দেওয়া হয়। কিন্তু অনেক ক্ষেত্রে O-রশ্মি এবং E-রশ্মি উভয়েরই বৈশিষ্ট্য পর্যবেক্ষণ করার প্রয়োজন হয়। তখন দ্বৈত-বিম্ব প্রিজ্‌ম্ ব্যবহার করা হয়। আবার কানাডা বালসাম অতি-বেগনী (ultra-violet) আলোকের শোষক। সুতরাং অতিবেগনী রশ্মির দ্বৈত প্রতিসরণ-ধর্ম পরীক্ষা করতে হ'লেও দ্বৈত-বিম্ব প্রিজ্‌ম্ প্রয়োজন। ব্যাবিনেটের কম্পেনসেটার নামক যন্ত্রের বিষয় পরে আলোচিত হয়েছে। উপবৃত্তীয় সমবর্তন পরীক্ষার ক্ষেত্রে প্রয়োজনীয় এই যন্ত্রটি প্রকৃতপক্ষে একটি পাতলা উয়োলাস্টন প্রিজ্‌ম্ মাত্র।

সারাংশ

ক্যালসাইট কেলাসের স্বাভাবিক গঠন হচ্ছে দুই প্রান্তে দুটি স্থূল পিরামিড-যুক্ত এবং ষড়্‌ভুজ প্রস্থচ্ছেদ-বিশিষ্ট। দুটি পিরামিডের শীর্ষদ্বয়ের সংযোগকারী রেখা কেলাসের অক্ষ এবং আলোক-অক্ষের দিক-নির্দেশক। স্বাভাবিক বিদারণ তলে ভাঙা ক্যালসাইট কেলাস রম্ব্‌ আকৃতির। রম্বের প্রত্যেকটি সামান্তরিক তলের শিরঃকোণ দুটি 101°53° এবং 78°7°; রম্বের আটটি শীর্ষের ছ'টিতে একটি সামতলিক স্থূলকোণ (101°53°) এবং দুটি সূক্ষ্মকোণ (78°7°) মিলিত হয়। কিন্তু বাকী দুটি শীর্ষে মিলিত তিনটি সামতলিক কোণই স্থূল (101° 53′)। এই দুটি শীর্ষকে স্থূল শীর্ষ বলে। রম্বের আলোক-অক্ষ যে কোনও স্থূল শীর্ষে মিলিত তিনটি প্রান্তের সঙ্গে সমান কোণে আনত রেখার সমান্তরাল। কোনও রম্বের সবগুলি প্রান্ত সমান দৈর্ঘ্য-বিশিষ্ট হলে, দুটি বিপরীত স্থূল শীর্ষের সংযোগকারী সরলরেখাটিই আলোক-অক্ষের দিক নির্দেশ করে। রম্বের যে কোনও সামান্তরিক প্রান্ততলের ক্ষুদ্রতর কর্ণের সমান্তরাল ও উভয় প্রান্ততলের লম্ব তল কল্পনা করলে, তা একটি মৌলিক ছেদ হবে।

গ্ল্যান-ফুকো প্রিজ্‌ম ও নিকল প্রিজ্‌মে ক্যালসাইট রম্বের মধ্যে O-রশ্মিকে পূর্ণ প্রতিফলিত করে ফিরিয়ে দেওয়া হয় এবং E-রশ্মি রম্ব্‌ থেকে সমবর্তিত আলোক-রশ্মি হিসাবে নির্গত হয়। উভয় প্রিজ্‌মেই একটি ক্যালসাইট রম্ব্‌-কে একটি কর্ণতল বরাবর কেটে আবার পাশাপাশি সংস্থাপন করা হয়। গ্ল্যান-ফুকো প্রিজ্‌মে দুটি সমান্তরাল কাটা তলের মাঝখানে থাকে একটি বায়ুস্তর, কিন্তু নিকলের দুটি কাটা তল কানাডা বালসাম দ্বারা জোড়া থাকে। নিকল এবং গ্ল্যান-ফুকো প্রিজ্‌মের মৌলিক ছেদের সঙ্গে সমান্তরাল কম্পন-বিশিষ্ট

E-রশ্মি নির্গত হয়। এইজন্য মৌলিক ছেদকে এই দুইজাতীয় প্রিজ্‌মের সঞ্চালন তল বলা হয়।

কোনও দ্বৈত-প্রতিসারক কেলাসে O-রশ্মি এবং E-রশ্মির মধ্যে একটি যদি আপেক্ষিকভাবে অধিক শোষিত হয়, তাকে দ্বিরাগীয় (Dichroic) কেলাস বলে এবং এই নির্বাচন-ধর্মী শোষণকে দ্বিরাগত্ব বলা হয়। টুরমালিন, হেরাপাথাইট প্রভৃতি এইজাতীয় কেলাস। টুরমালিনে O-রশ্মি শোষিত এবং E-রশ্মি নির্গত হয়। হেরাপাথাইটে বা কুইনাইনের আয়োডোসালফেট-এর সূচের আকৃতি লম্বা গঠনের কেলাস, তার দৈর্ঘ্যের সঙ্গে সমান্তরাল তড়িৎ-ভেক্টরকে শোষণ করে। ল্যাণ্ড-উদ্ভাবিত সমান্তরালভাবে সজ্জিত হেরাপাথাইট কেলাসের তৈয়ারী সমবর্তককে J-শীট বলা হয়। পলিভিনাইল অ্যালকোহলের সমান্তরাল সজ্জার ফাঁকে আয়োডিন-যুক্ত অণু সাজিয়ে H-শীট তৈয়ারী হয়। H-শীট, J-শীট প্রভৃতি বর্তমানে বহুল ব্যবহৃত সমবর্তককে এক কথায় পোলারয়েড বলা হয়। দ্বৈত-বিম্ব প্রিজ্‌ম্ দুটি দ্বৈত-প্রতিসারক ত্রিভুজ-প্রিজ্‌মকে কর্ণতল বরাবর জুড়ে এমনভাবে তৈয়ারী করা হয় যে তাদের আলোক-অক্ষ পরস্পর লম্ব হয়। এদের দ্বারা নির্গত O-রশ্মি ও E-রশ্মির ব্যবধান বেশী হয়।

অনুশীলনী

১। ক্যালসাইট কেলাসের গঠন ও ধর্ম সম্বন্ধে একটি সচিত্র আলোচনা কর।

২। গ্ল্যান-ফুকো প্রিজ্‌মের গঠন ও কার্যপ্রণালী আলোচনা কর।

৩। নিকল প্রিজ্‌মের গঠন ও ক্রিয়ার একটি সচিত্র বিবরণ দাও।

৪। 'নিকল প্রিজ্‌মের সাম্যতা অক্ষের সঙ্গে 14° কোণে আনত রশ্মির ক্ষেত্রেও O-রশ্মি সম্পূর্ণ প্রতিফলিত হবে'—এই উক্তিটির যাথার্থ্য গণনার সাহায্যে প্রতিপন্ন কর। [ক্যালসাইটে $\mu_o = 1{\cdot}658$, $\mu_e = 1{\cdot}486$ এবং কানাডা বালসামের $\mu = 1{\cdot}56$]

৫। দ্বিরাগত্ব কী? কয়েকটি দ্বিরাগীয় কেলাসের নাম উল্লেখ কর।

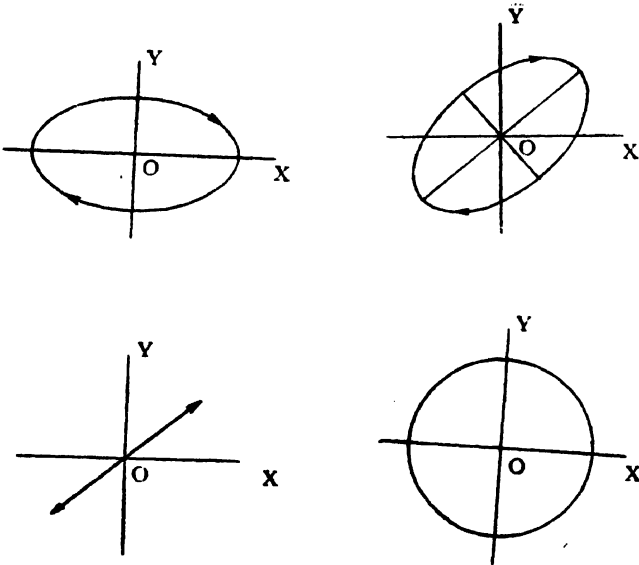
৬। পোলারয়েড কী? H-পোলারয়েডের গঠন-প্রণালী এবং ক্রিয়ার সংক্ষিপ্ত বর্ণনা দাও।

৭। টীকা লেখঃ (i) রোকন প্রিজ্‌ম্; (ii) উয়োলাস্টন প্রিজ্‌ম্।

ষষ্ঠ অধ্যায়

উপবৃত্তীয় ও বৃত্তীয় সমবর্তন

৬·১ দুটি পরস্পর লম্ব কম্পনের ব্যতিচার (Interference) :

দুটি পরস্পর লম্ব সমবর্তিত আলোক-তরঙ্গ যদি উপর্যুপরি স্থাপিত হয়, তাহ'লে তাদের সমন্বয়ে কী ধরনের কম্পন উৎপন্ন হবে তাই এই অধ্যায়ের আলোচ্য বিষয়। পদার্থের সাধারণ ধর্ম এবং শব্দবিজ্ঞান বিষয়ে লেখা বইয়ে বস্তুর কম্পনের ক্ষেত্রে এই ধরনের আলোচনা পাওয়া যাবে। সেখানে দেখা যাবে, সমান কম্পাঙ্ক-বিশিষ্ট দুটি পরস্পর লম্ব কম্পন মিলিত হ'লে সাধারণতঃ উপবৃত্তীয় কম্পন উৎপন্ন হয়। দুটি কম্পনের মধ্যে দশার তারতম্য অনুসারে এই উপবৃত্তীয় কম্পনের নানারকম আকার ও উপবৃত্তের অক্ষদুটির বিভিন্ন

চিত্র ৯৮

দুটি লম্ব কম্পনের সমন্বয়ে উৎপন্ন বিভিন্ন লব্ধি কম্পন।

অবস্থান হয়। উপবৃত্তের অক্ষদ্বয় নির্দেশ-তন্ত্রের অক্ষদ্বয়ের (axes of reference) সঙ্গে সমান্তরাল, সমাপাতিত অথবা তাদের সঙ্গে কোনও কোণে আনত অবস্থায় থাকতে পারে। আবার দশার ব্যবধানের বিশেষ ক্ষেত্রে লব্ধি (resultant)-কম্পন সরলরৈখিকও হ'তে পারে। দশার ব্যবধান $\frac{\pi}{2}$ হ'লে এবং ব্যতিচারী কম্পন দুটির বিস্তার সমান হ'লে সম্মিলিত কম্পন বৃত্তীয় আকারের হয়। চিত্রে কয়েকটি বিশেষ ক্ষেত্র দেখানো হয়েছে। এই-জাতীয় চিত্রগুলিকে লিসাজো-র চিত্র (Lissajeau's figures) বলা হয়। পাঠক এই অধ্যায়ে প্রবেশের পূর্বে পদার্থের ধর্ম অথবা শব্দ-বিজ্ঞানের কোনও উপযুক্ত গ্রন্থ থেকে সংশ্লিষ্ট অধ্যায়টি একবার পড়ে নিলে সুবিধা হবে। বস্তুর বা বাস্তব মাধ্যমের কম্পনের ক্ষেত্রে যে নীতি প্রযোজ্য, আলোক-ভেক্টরের কম্পনের ক্ষেত্রেও তা প্রয়োগ করা যেতে পারে। অবশ্য একটু পার্থক্য আছে। আলোকের কম্পন অত্যন্ত দ্রুত হওয়ার জন্য দুটি ব্যতিচারী কম্পনকে সুসঙ্গত (coherent) হতে হবে। অর্থাৎ তাদের মধ্যে দশার ব্যবধান সর্বদা সমান থাকা প্রয়োজন। কয়েকটি শর্ত পূরণ হলেই বাস্তব ক্ষেত্রে দুটি কম্পনের ব্যতিচারের দ্বারা স্থায়ী আকার বিশিষ্ট উপবৃত্তীয় শ্রেণীর কম্পন পাওয়া যায়। অন্যথায় প্রতিমুহূর্তে লব্ধ (resultant) কম্পনের আকার পরিবর্তিত হবে এবং নির্দিষ্ট আকারের পরিবর্তে প্রতিমুহূর্তে নূতন নূতন আকারের কম্পন হতে থাকবে। এই দ্রুত পরিবর্তনশীল আকার-বিশিষ্ট কম্পনকে কার্যত অসমবর্তিত কম্পন হিসাবেই গণ্য করা হবে। সুনির্দিষ্ট ও স্থায়ী আকারের কম্পন উৎপন্ন হওয়ার শর্তগুলি নীচে লিপিবদ্ধ করা হ'ল :

১। একটি সমতল সমবর্তিত কম্পন থেকে দুটি পরস্পর লম্ব কম্পন উৎপন্ন হওয়া প্রয়োজন।

২। সমতল সমবর্তিত আলোকটি একবর্ণীয় (monochromatic) হওয়া চাই।

৩। সমতল সমবর্তিত আলোককে দুটি পরস্পর লম্ব কম্পনে বিশ্লেষণ করতে একটি দ্বৈত প্রতিসারক কেলাসের পাত প্রয়োজন। এই পাতটির বেধ এত সামান্য হবে যে, নির্গত O-রশ্মি ও E-রশ্মির ব্যবধান খুব কম হবে, যেন কার্যত দুটি রশ্মি সমাপাতিত হয়।

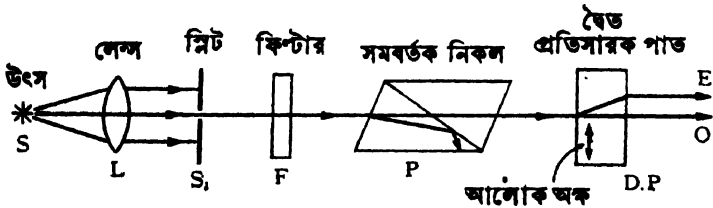
শর্তগুলির ব্যাখ্যা অত্যন্ত সহজ। প্রথমত, দুটি বিভিন্ন সমতল সমবর্তিত

আলোক-কম্পন সমকোণে অবস্থিত হ'লেও তাদের কম্পনের মধ্যে সুসংগতি থাকবে না। এমনকি একই উৎস থেকে দুটি বিভিন্ন নিকল (বা পোলারয়েড) দ্বারা দুটি সমবর্তিত আলোক উৎপন্ন করলেও বিভিন্ন নিকলের থেকে নির্গত আলোকের মধ্যে একটা প্রাথমিক দশার ব্যবধান থেকে যাবে। সুতরাং সুনির্দিষ্ট আকারের স্থায়ী ব্যতিচার উৎপন্ন করার ক্ষেত্রে এখানে অন্তরায় উপস্থিত হবে।

দ্বিতীয়ত, সমতল সমবর্তিত আলোক একবর্ণীয় না হ'লে বিভিন্ন তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের আলোকের ক্ষেত্রে দ্বৈত প্রতিসারক কেলাসের মধ্যে বিভিন্ন দশার ব্যবধান উৎপন্ন হবে। সুতরাং নানা আকার ও অবস্থানের কতকগুলি উপবৃত্তীয় কম্পন উপস্থাপিত হয়ে বিশৃঙ্খল অবস্থায় সৃষ্টি করবে।

তৃতীয়ত, দুটি পরস্পর লম্ব সমবর্তিত আলোক, যারা O-রশ্মি ও E-রশ্মি দ্বারা বাহিত হচ্ছে তাদের মধ্যে যদি ব্যবধান বেশী হয় তাহ'লে তাদের সমন্বয় ঘটবে না।

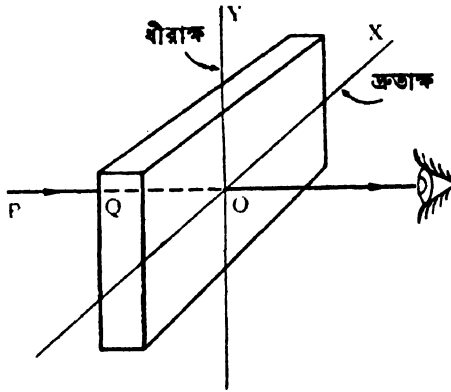
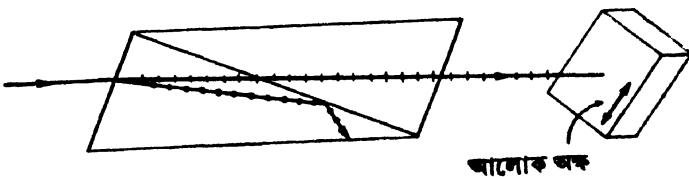
উপরের আলোচনা থেকে দেখা যাচ্ছে উপবৃত্তীয় সমবর্তন উৎপন্ন করতে হ'লে নিম্নলিখিত সরঞ্জাম ও ব্যবস্থার প্রয়োজন :

চিত্র ৯৯

উপবৃত্তীয় সমবর্তন উৎপাদনের পদ্ধতি।

একটি সাদা আলোকের উৎস থেকে নির্গত রশ্মিগুচ্ছকে প্রথমে অভিসারী লেন্স দ্বারা সমান্তরাল এবং একটি সরু স্লিট দ্বারা সরু রশ্মিগুচ্ছে পরিণত করা হবে। তারপর কোনও একবর্ণীয় ফিলটারের দ্বারা তা থেকে মাত্র একটি তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোক বেছে নেওয়া হবে। এই আলোক থেকে কোনও নিকল বা পোলারয়েডের সাহায্যে সমতল সমবর্তিত আলোক উৎপন্ন করা হবে। এই সমতল-সমবর্তিত আলোক লম্বভাবে একটি পাতলা দ্বৈত-

প্রতিসারক পাতের উপর আপতিত হবে, যে পাতের আলোক-অক্ষ তলের সঙ্গে সমান্তরাল। এখন পাত থেকে নির্গত O-রশ্মি এবং E-রশ্মির কম্পন পরস্পর লম্ব এবং সুসংগত। এখানে দ্বৈতপ্রতিসারক পাতের উপর লম্ব আপতন হওয়ায় এবং আলোক-অক্ষ তলের সমান্তরাল হওয়ায় উভয় তরঙ্গ (এবং রশ্মি) একই দিকে অগ্রসর হবে। সুতরাং তাদের মধ্যে কোনও ব্যবধানই উৎপন্ন হবে না। চিত্রে অবশ্য সুবিধার জন্য তাদের মধ্যে ব্যবধান দেখানো হয়েছে। এখন O-রশ্মি ও E-রশ্মির আলোকের দশার ব্যবধান অনুসারে বিভিন্ন ধরনের সমবর্তিত আলোক উৎপন্ন হবে।

৬·২ মন্দক পাত (Retardation plate) :

সমতল সমবর্তিত আলোককে দুটি পরস্পর লম্ব সমবর্তিত আলোকে

চিত্র ১০০
মন্দক পাত।

চিত্র ১০১
নিকল ও মন্দক পাত।

বিশ্লেষণ করার জন্য যে পাতলা দ্বৈত প্রতিসারক পাতটি ব্যবহার করা হয়, তাকে বলে মন্দক পাত। দুটি কম্পনের একটির বেগ অন্যটির তুলনায় কম হয় এবং তার ফলে উভয় কম্পনের মধ্যে দশার ব্যবধান উৎপন্ন হয়। এইজন্য পাতটির এইরকম নামকরণ হয়েছে।

মন্দক পাত প্রস্তুত করতে হ'লে কোনও দ্বৈত প্রতিসারক কেলাস থেকে একটি চতুষ্কোণ পাতলা পাত এমনভাবে কাটা হয় যে তার আলোক-অক্ষ বিপরীত পার্শ্বতল দুটির সঙ্গে সমান্তরাল হয়। মনে করা যাক, চিত্রে X-অক্ষ আলোক-অক্ষের দিক নির্দেশ করছে। PQ রশ্মিটি যদি লম্বভাবে পাতটির উপর পড়ে তাহ'লে ঐ রশ্মিবাহিত আলোকের কম্পন পাতের মধ্যে OX ও OY অক্ষ বরাবর দুটি পরস্পর লম্ব উপাংশে বিশ্লিষ্ট হবে। আমরা জানি এক্ষেত্রে আলোক-অক্ষের (এখানে OX-এর) সমান্তরাল কম্পনকে ব্যতিক্রান্ত বা E-কম্পন এবং OY-এর সমান্তরাল কম্পনকে সাধারণ বা O-কম্পন বলা হয়। দ্বৈত-প্রতিসারক মাধ্যমের ধর্ম অনুসারে O-তরঙ্গ এবং E-তরঙ্গ বিভিন্ন বেগে মাধ্যমের মধ্যে অগ্রসর হবে। এখানে আলোক-রশ্মির গতি আলোক-অক্ষের সঙ্গে ঠিক লম্ব। সুতরাং O-রশ্মি ও E-রশ্মির বেগের ব্যবধান চরম এবং এখানে E-তরঙ্গের বেগকে V_e বলা যায়। নেগেটিভ কেলাসে আলোক-অক্ষের লম্ব অভিমুখে E-তরঙ্গের বেগ চরম, যাকে আমরা V_e দ্বারা প্রকাশ করেছি এবং O-তরঙ্গের বেগ $V_0 < V_e$। সুতরাং OX-এর সমান্তরাল E-কম্পন-বিশিষ্ট তরঙ্গ দ্রুততর বেগে এবং OY-এর সমান্তরাল O-কম্পন-বিশিষ্ট তরঙ্গ ধীরতর বেগে অগ্রসর হবে। এইজন্য এক্ষেত্রে OX-অক্ষকে দ্রুতাক্ষ (fast axis) এবং OY-অক্ষকে ধীরাক্ষ (slow axis) বলা হয়। মনে রাখা উচিত, শূন্যস্থানে আলোকের বেগের তুলনায় পাতের মধ্যে দুটি তরঙ্গই মন্দীভূত হয়। কিন্তু নেগেটিভ কেলাসে O-তরঙ্গ অধিকতর মন্দীভূত হয়। আবার বিপরীতপক্ষে পজিটিভ কেলাসে E-তরঙ্গ অধিকতর মন্দীভূত হয়। এইজন্য এইজাতীয় পাতকে মন্দক পাত বলা হয়। এখানে কিন্তু আলোকের বেগের উপর কোনও মন্দন বা retardation ক্রিয়া করে না। মন্দীভূত ধ্রুবক বেগেই উভয় তরঙ্গ চালিত হয়।

মন্দক পাতের বেধ : মন্দক পাতের বেধ নির্ভর করে O- এবং E-তরঙ্গের মধ্যে কত পরিমাণ মন্দন উৎপন্ন করা হবে তার উপর। সাধারণত অর্ধতরঙ্গ $\left(\frac{\lambda}{2}\right)$ বা পাদ-তরঙ্গ $\left(\frac{\lambda}{4}\right)$ পথ-ব্যবধান উৎপন্ন করার

উপযুক্ত মন্দক পাত খুব ব্যবহৃত হয়। এদের $\frac{\lambda}{2}$ পাত বা $\frac{\lambda}{4}$ পাত বলা হয়। এইজাতীয় পাতের বেধও তদনুসারে হয়ে থাকে।

অর্ধতরঙ্গ পাত বা $\frac{\lambda}{2}$ পাত: যে দ্বৈত-প্রতিসারক পাতের দ্বারা আলোক-অক্ষের সঙ্গে লম্বভাবে অগ্রসর O- এবং E-তরঙ্গের কার্যকর পথ-ব্যবধান ব্যবহৃত আলোকের অর্ধতরঙ্গদৈর্ঘ্য বা $\frac{\lambda}{2}$ হয়, তাকে অর্ধতরঙ্গ পাত বলে।

এখানে E-তরঙ্গও আলোক-অক্ষের সঙ্গে লম্বভাবে অগ্রসর হয়, সুতরাং ব্যতিক্রান্ত প্রতিসরাঙ্ক μ_e-র সংজ্ঞা এক্ষেত্রে প্রযোজ্য হবে।

এখন ধরা যাক, কোনও $\frac{\lambda}{2}$ পাতের বেধ t সেমি.; সুতরাং E-তরঙ্গের ক্ষেত্রে পাতের মধ্যে আলোকীয় পথ (optical path) $= \mu_e . t$ সেমি.।

কিন্তু O-তরঙ্গের ক্ষেত্রে আলোকীয় পথ $= \mu_0 . t$ সেমি.।

সুতরাং উপাত্ত অনুসারে, $\mu_0 . t \sim \mu_e . t = \frac{\lambda}{2}$

$$\text{বা} \qquad t(\mu_0 \sim \mu_e) = \frac{\lambda}{2}$$

কেলাসের প্রকৃতি অনুসারে μ_0 এবং μ_e-র মধ্যে যেটি বৃহত্তর তা থেকে অপরটি বিয়োগ করতে হবে। নেগেটিভ কেলাসের ক্ষেত্রে $\mu_0 > \mu_e$, সুতরাং $(\mu_0 - \mu_e)t = \frac{\lambda}{2}$।

এখন ঠিক $\frac{\lambda}{2}$ ব্যবধান এত সামান্য যে এই সূত্রানুসারে $\frac{\lambda}{2}$ পাত তৈয়ারী করা কার্যত প্রায় অসম্ভব। সেইজন্যে $\frac{\lambda}{2}$-এর কোনও বিজোড় গুণিতককে পথ-ব্যবধান ধরেও পাতের বেধ নির্ণয় করা যায়; অর্থাৎ তখন প্রযোজ্য সূত্র হবে:

$$(\mu_0 \sim \mu_e)t = (2n+1)\,\frac{\lambda}{2},$$

যখন $n =$ অখণ্ড সংখ্যা।

পাদতরঙ্গ পাত বা $\frac{\lambda}{4}$ পাত : যদি কোনও দ্বৈত-প্রতিসারক পাতের বেধ এমন হয় যে তার ভিতর দিয়ে নির্গত আলোক-অক্ষের সঙ্গে লম্বভাবে অগ্রসর O-তরঙ্গ এবং E-তরঙ্গের মধ্যে উৎপন্ন পথ-ব্যবধান $\frac{\lambda}{4}$ বা সাধারণ-ভাবে $(4n+1)\frac{\lambda}{4}$ হয়, তাহ'লে ঐ পাতকে পাদতরঙ্গ পাত বলে। অতএব পাদতরঙ্গ পাতের ক্ষেত্রে বেধ নির্ণয়ের সূত্র হবে :

$$(\mu_o \sim \mu_e)t = (4n+1)\frac{\lambda}{4}$$

ক্যালসাইট দিয়ে মন্দক পাত তৈয়ারী করা খুব কঠিন। কারণ প্রয়োজনানুরূপ পাতলা পাত ক্যালসাইট থেকে তৈয়ারী করা কষ্টকর। অভ্রের (Mica) খুব পাতলা পাত পাওয়া যায় এবং অভ্র দ্বৈত-প্রতিসারক। এইজন্যে মন্দক পাত প্রায়ই অভ্র দিয়ে তৈয়ারী করা হয়। অভ্র নেগেটিভ কিন্তু দ্বি-অক্ষীয় কেলাস। কিন্তু বিশেষ ধরনের এমন অভ্র পাওয়া যায় যার আলোক-অক্ষ দুটির মধ্যে আনতি কোণ সামান্য। সুতরাং তাদের কার্যত সমান্তরাল ধরে নিলে এই ধরনের অভ্রকে একাক্ষিক কেলাস বলা যায়। স্বাভাবিক বিদারণ তলের সাহায্যেই অভ্র থেকে খুব পাতলা পাত পাওয়া সম্ভব এবং তার বিপরীত তল দুটিও প্রয়োজনানুরূপ মসৃণ হয়। কোয়ার্জ কেলাস থেকেও মন্দক পাত কাটা যায়। কিন্তু কোয়ার্জের কোনও স্বাভাবিক বিদারণ তল না থাকায় কাটা তলগুলিকে মসৃণ করতে হয়।

উল্লেখযোগ্য যে ব্যবহৃত আলোকের তরঙ্গদৈর্ঘ্যের উপর মন্দক পাতের বেধ নির্ভর করে। নির্দিষ্ট কোনও তরঙ্গদৈর্ঘ্যের জন্য প্রস্তুত মন্দক পাত কেবল ঐ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোকের ক্ষেত্রেই কার্যকর হবে।

এখানে মন্দক পাত সম্বন্ধে দু-একটি সাংখ্য উদাহরণ দেওয়া হ'ল।

উদাহরণ ১ : ক্যালসাইট কেলাসে 5893A. তরঙ্গদৈর্ঘ্য-বিশিষ্ট আলোকের ক্ষেত্রে সাধারণ ও ব্যতিক্রান্ত প্রতিসরাঙ্ক যথাক্রমে 1·658 এবং 1·48। ঐ আলোকের জন্য ক্যালসাইট নির্মিত $\frac{\lambda}{2}$ পাতের ক্ষুদ্রতম বেধ কত হবে?

আলোচ্য প্রশ্নে, $\mu_o = 1{\cdot}658$; $\lambda = 5893 \times 10^{-8}$ সেমি. ;
$\mu_e = 1{\cdot}48$; $t =$ নির্ণেয়।

এখানে প্রযোজ্য $(\mu_o - \mu_e)\, t = \dfrac{\lambda}{2}$ সূত্রে এইসমস্ত মান

প্রয়োগ করলে, $(1{\cdot}658 - 1{\cdot}48)\, t = \dfrac{5893 \times 10^{-8}}{2}$

$\therefore$ নির্ণেয় বেধ, $t = 1{\cdot}655 \times 10^{-4}$ সেমি.

উদাহরণ ২ : কোয়ার্জের μ_o এবং μ_e যথাক্রমে $1{\cdot}544$ এবং $1{\cdot}553$ হ'লে, 5896×10^{-8} সেমি. তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোকের উপযুক্ত ·01 সেমি. পর্যায়ের $\frac{\lambda}{4}$ পাত প্রস্তুত করতে কত বেধের পাত প্রয়োজন হবে ?

আমরা জানি, $(\mu_o \sim \mu_e)\, t = (4n+1)\dfrac{\lambda}{4}$

আলোচ্য প্রশ্নে, $\mu_o = 1{\cdot}544$; $\lambda = 5896 \times 10^{-8}$ সেমি. ;
$\mu_e = 1{\cdot}553$; $t =$ নির্ণেয়।

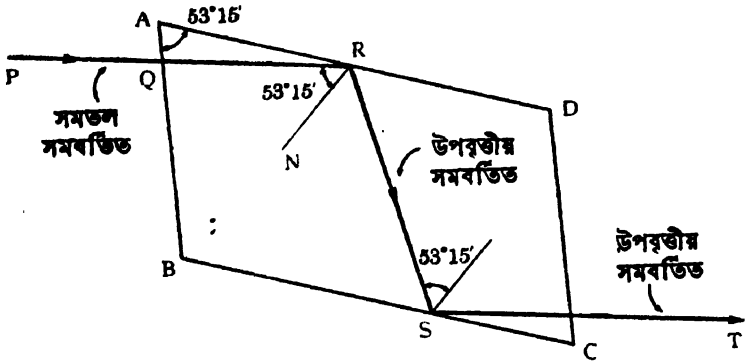
$$\therefore \quad t = (4n+1) \times \frac{5896 \times 10^{-8}}{4} \times \frac{1}{1{\cdot}553 - 1{\cdot}544}$$

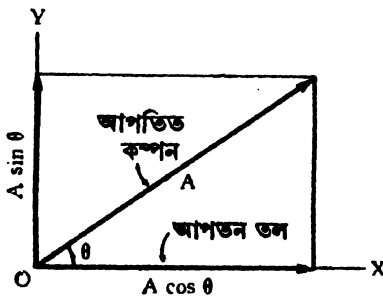
$n = 1$ ধরলে, পাওয়া যায়, $t = 0{\cdot}00819$ সেমি.
$n = 2$ ধরলে, $t = 0{\cdot}01474$ সেমি.

সুতরাং নির্ণেয় বেধ, $t = 0{\cdot}01474$ সেমি.।

৬·৩ ফ্রেনেলের রম্ব (Fresnel's Rhomb) :

সমতল-সমবর্তিত আলোক পূর্ণ আন্তঃ প্রতিফলনের দ্বারা দুটি পরস্পর লম্ব কম্পনে বিশ্লিষ্ট হয় এবং প্রতিফলনের জন্য তাদের মধ্যে দশার ব্যবধানও উৎপন্ন হয়। তড়িৎ-চুম্বকীয় তত্ত্বের সাহায্যে দেখানো যায় এই দশার ব্যবধান ঘন মাধ্যমে আপতন কোণের উপর নির্ভর করে। গণনা করে দেখা যায়, $\mu = 1{\cdot}5$ প্রতিসরাঙ্ক-বিশিষ্ট কাচের আন্তঃ আপতন কোণ $53^\circ\, 15'$ হ'লে পরস্পর লম্ব কম্পন দুটির মধ্যে দশার ব্যবধান ঠিক $\frac{\pi}{4}$ বা 45° হয়। এই

নীতির উপর ভিত্তি করে ফ্রেনেলের রম্ব্ নির্মিত হয়। এই উদ্দেশ্যে 1·5 প্রতিসরাঙ্ক-বিশিষ্ট একটি কাচের রম্ব্ নেওয়া হয় যার প্রান্ততল দুটি বর্গাকার এবং প্রস্থচ্ছেদ ABCD একটি সামান্তরিক। এই সামান্তরিকের সূক্ষ্ম শীর্ষকোণটি 53° 15′। সুতরাং এই রম্বের কোনও প্রান্ততল AB-র উপর

চিত্র ১০২

লম্বভাবে একটি সমতল-সমবর্তিত আলোক-রশ্মি PQ আপতিত হ'লে তা AD তলের উপর ঠিক 53° 15′ কোণে আপতিত হবে। পূর্ণ আন্তঃ প্রতিফলিত RS রশ্মির আলোকে দুটি পরস্পর লম্ব বিশ্লেষিতাংশ (resolved parts) থাকবে যাদের মধ্যে দশার ব্যবধান হবে $\frac{\pi}{4}$। যদি A বিস্তার-বিশিষ্ট

চিত্র ১০৩

আপতিত আলোকের কম্পন আপতন তলের সঙ্গে θ কোণে আনত হয়, তাহ'লে আপতন তল OX এবং লম্ব তল OY-এর সমান্তরাল A cos θ এবং

$A \sin\theta$ বিস্তার-বিশিষ্ট দুটি কম্পন $\frac{\pi}{4}$ দশার ব্যবধানে থেকে BC তলের উপর আবার ঠিক $53^\circ\, 15'$ কোণে আপতিত হবে। তারা কম্পনের দিক পরিবর্তন করবে না, কিন্তু এই দ্বিতীয়বার আন্তঃ প্রতিফলনের জন্য আরও $\frac{\pi}{4}$ দশার ব্যবধান উৎপন্ন হবে। তাহ'লে দুটি পরস্পর লম্ব কম্পনের মধ্যে দশার ব্যবধান হ'ল $\frac{\pi}{2}$। সুতরাং তাদের সমন্বয়ে সাধারণত উপবৃত্তীয় সমবর্তিত আলোক উৎপন্ন হবে। যদি $\theta = 45^\circ$ হয়, তাহ'লে দুটি বিশ্লেষিত কম্পনের বিস্তার সমমান-বিশিষ্ট হবে। সেক্ষেত্রে লব্ধি কম্পন হবে বৃত্তীয়। [এখানে উল্লেখযোগ্য, একবার প্রতিফলনের পর RS রশ্মির আলোক-দশার ব্যবধান $\frac{\pi}{4}$, সুতরাং ঐ আলোকও উপবৃত্তীয়ভাবে সমবর্তিত। কিন্তু ঐ আলোক কার্যকরভাবে পাওয়া যায় না। সুতরাং ফ্রেনেলের রম্ব্ কার্যত একটি $\frac{\lambda}{4}$ পাতের মতো কাজ করে।]

৬·৪ উপবৃত্তীয়ভাবে সমবর্তিত আলোক উৎপাদনের তত্ত্ব:

দুটি পরস্পর লম্ব, একই কম্পাঙ্ক-বিশিষ্ট এবং সুসংগত (coherent) আলোক-কম্পনের সমাপতনে উপবৃত্তীয় কম্পনের উৎপত্তি নিম্নলিখিত গাণিতিক বিশ্লেষণের সাহায্যে ব্যাখ্যা করা যায়।

ধরা যাক, দুটি পরস্পর লম্ব একই কম্পাঙ্ক-বিশিষ্ট সুসংগত কম্পনকে X- ও Y-অক্ষ বরাবর নিম্নোক্ত সমীকরণ দুটি দ্বারা সূচিত করা হ'ল:

$$x = a \sin \omega t \quad \cdots \quad \cdots \quad \text{(i)}$$

$$y = b \sin (\omega t + \delta) \quad \cdots \quad \text{(ii)}$$

যখন ω উভয় কম্পনের কম্পাঙ্ক (Pulsatance), a ও b যথাক্রমে x- ও y-কম্পনের বিস্তার এবং δ উভয় কম্পনের মধ্যে দশার ব্যবধান।

এখন (i) এবং (ii) সমীকরণ থেকে পাওয়া যায়:

$$\frac{x}{a} = \sin \omega t$$

এবং $\frac{y}{b} = \sin \omega t \cos \delta + \cos \omega t \sin \delta$

$$= \sin \omega t \cos \delta + \sqrt{1 - \sin^2 \omega t}.\ \sin \delta$$

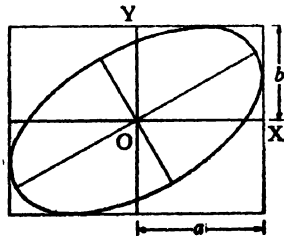
বা, $\frac{y}{b} = \frac{x}{a} \cos \delta + \sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2}} \cdot \sin \delta$

বা, $\frac{y}{b} - \frac{x}{a} \cos \delta = \sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2}}.\ \sin \delta$

উভয়পক্ষের বর্গ নিয়ে পক্ষান্তর ক'রে ঃ

$$\frac{y^2}{b^2} + \frac{x^2}{a^2} (\cos^2 \delta + \sin^2 \delta) - \frac{2xy}{ab} \cos \delta = \sin^2 \delta$$

বা. $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{2xy}{ab} \cos \delta = \sin^2 \delta \qquad \cdots \qquad \cdots \quad \text{(iii)}$

এই সমীকরণটিকে স্থানাঙ্ক জ্যামিতিতে কেন্দ্রীয় কনিক (central conic)-এর সাধারণ সমীকরণ বলা হয়। আলোচ্য প্রশ্নের শর্ত থেকে আমরা জানি x এবং y-এর মান অর্থাৎ কম্পনের জন্য X- এবং Y-অক্ষের

চিত্র ১০৪

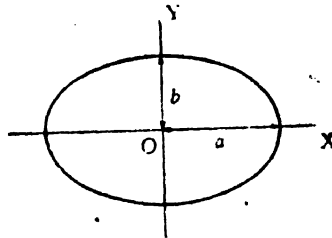
উপবৃত্তের অক্ষদ্বয় X- ও Y-অক্ষের সঙ্গে আনত।

দিকে সরণ কখনও অসীম মানের হবে না। সুতরাং কেন্দ্রীয় কনিকটি উপবৃত্তীয় হবে। সমীকরণ (i) এবং (ii) থেকে দেখা যাচ্ছে x এবং y-এর চরম মান যথাক্রমে a এবং b হবে। সুতরাং উপবৃত্তটি $2a$ এবং $2b$ দৈর্ঘ্য ও প্রস্থবিশিষ্ট একটি আয়তক্ষেত্রের মধ্যে সর্বদা অন্তর্লিখিত হবে। সাধারণত

উপবৃত্তের অক্ষদ্বয় স্থানাঙ্ক অক্ষদুটি অর্থাৎ X- ও Y-অক্ষের সঙ্গে আনত অবস্থায় থাকবে। বিশেষ ক্ষেত্রে তারা স্থানাঙ্ক অক্ষদ্বয়ের সঙ্গে সমাপতিত হতে পারে। প্রশ্নের প্রদত্ত শর্তাদি অনুসারে উপবৃত্তের অবস্থান, আকার, উৎকেন্দ্রিকতা প্রভৃতি নির্ধারিত হবে। এই বিশেষ ক্ষেত্রগুলি একে একে আলোচিত হচ্ছে।

ক্ষেত্র ১ : ধরা যাক, দশার ব্যবধান $\delta = (2n+1)\frac{\pi}{2}$ যখন $n = 0$ বা কোনও অখণ্ড সংখ্যা।

তাহ'লে (iii) সমীকরণে, $\delta = (2n+1)\frac{\pi}{2}$ মান প্রয়োগ করে পাওয়া যায় :

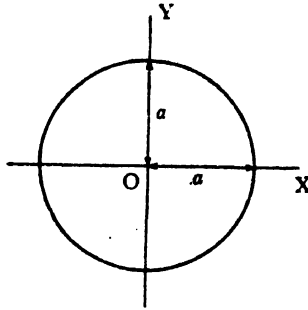
$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$$

চিত্র ১০৫

উপবৃত্তের অক্ষদ্বয় X- ও Y-অক্ষের সঙ্গে সমাপতিত।

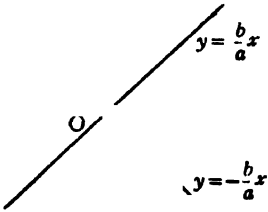
এক্ষেত্রে সমীকরণটি একটি উপবৃত্তকে সূচিত করবে যার অক্ষদ্বয় X- ও Y-অক্ষের সঙ্গে সমাপতিত। a ও b অর্ধ-পরাক্ষ ও অর্ধ-উপাক্ষকে (semi-major and semi-minor axes) নির্দেশ করবে। কোন্‌টি পরাক্ষ এবং কোন্‌টি উপাক্ষ তা বুঝতে পারা যাবে a এবং b-এর আপেক্ষিক মান থেকে।

বিশেষ ক্ষেত্র ১ (ক) : যদি $\delta = (2n+1)\frac{\pi}{2}$ এবং $a = b$ হয়, তাহ'লে সমীকরণটি হবে :

$$x^2 + y^2 = a^2$$

এটি একটি বৃত্তের সমীকরণ যার কেন্দ্র হচ্ছে (0, 0) বিন্দু এবং ব্যাসার্ধ a।

চিত্র ১০৬
লব্ধি কম্পন এখানে বৃত্তীয়।

ক্ষেত্র ২ঃ ধরা যাক, দশার ব্যবধান, $\delta = n\pi$, যখন $n = 0, 1, 2, 3 \cdots$

পূর্বের (iii)-চিহ্নিত সমীকরণে $\delta = n\pi$ প্রয়োগ করে পাওয়া যায়ঃ

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} \pm \frac{2xy}{ab} = 0$$

বা, $$\left(\frac{x}{a} \pm \frac{y}{b}\right)^2 = 0$$

বা, $$y = \pm \frac{b}{a} x$$

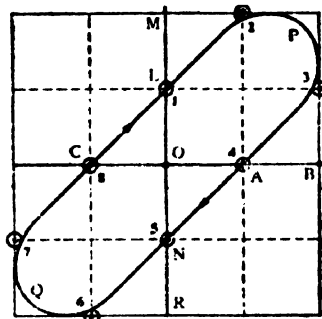
চিত্র ১০৭
লব্ধি কম্পন এখানে দুটি সরলরেখা।

সুতরাং সমীকরণটি মূলবিন্দুগামী দুটি সরলরেখা নির্দেশ করছে। n-এর মান 0 অথবা কোনও জোড় সংখ্যা হলে, $\cos \delta = 1$, সুতরাং $y = -\frac{b}{a} x$

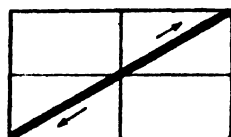
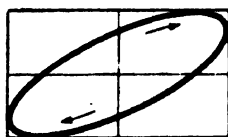
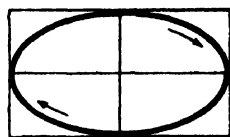
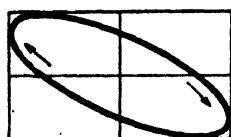
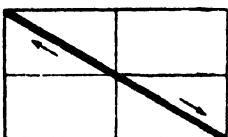
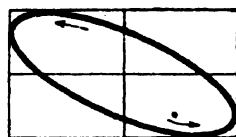
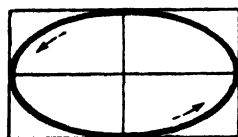
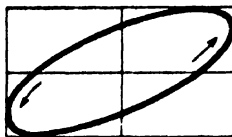
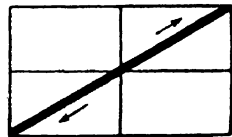
কিন্তু n কোন বিজোড় সংখ্যা হলে, $\cos \delta = -1$ এবং $y = +\frac{b}{a} x$

ঘূর্ণনের দিকঃ উপবৃত্তীয় কম্পনের ঘূর্ণন দক্ষিণাবর্তী অথবা বামাবর্তী (Clockwise or anti-clockwise) হতে পারে। দর্শকের কাছে ঘূর্ণনের দিক যদি ঘড়ির কাঁটার অনুরূপ হয় তাহ'লে তাকে দক্ষিণাবর্তী ঘূর্ণন

বলে। তার বিপরীত ঘূর্ণনকে বলে বামাবর্তী ঘূর্ণন। ঘূর্ণনের দিক নির্ভর করে দুটি পরস্পর লম্ব ব্যতিচারী কম্পনের মধ্যে দশার ব্যবধানের উপর। ধরা যাক, y-কম্পন অগ্রবর্তী দশায় আছে। এখন দশার ব্যবধান যদি 0 থেকে π পর্যন্ত হয়, তাহ'লে ঘূর্ণন দক্ষিণাবর্তী হবে। আবার π থেকে 2π পর্যন্ত দশার ব্যবধান হ'লে, ঘূর্ণন বামাবর্তী হবে। x-কম্পন অগ্রবর্তী দশায় হলে, এর ঠিক বিপরীত অবস্থা হবে। অর্থাৎ সেক্ষেত্রে 0 থেকে π পর্যন্ত দশার ব্যবধানে ঘূর্ণন হবে বামাবর্তী এবং π থেকে 2π পর্যন্ত দশার ব্যবধানে ঘূর্ণন হবে দক্ষিণাবর্তী।

একটি সহজ উদাহরণের সাহায্যে পূর্বের বক্তব্য বিষয় প্রতিপন্ন হবে। ধরা যাক, y-কম্পন x-কম্পনের তুলনায় $\frac{\pi}{4}$ দশায় অগ্রবর্তী আছে। x-কম্পন

চিত্র ১০৮

X-অক্ষ বরাবর এবং y-কম্পন Y-অক্ষ বরাবর ঘটছে। প্রথমে আরম্ভের সময়ে ধরা যাক, x-কম্পনের অবস্থান মূলবিন্দু O এবং y-কম্পনের অবস্থান L; সুতরাং লব্ধি কম্পনের (ভেক্টরের) অবস্থানও L। ঐ অবস্থানকে 1 দ্বারা চিহ্নিত করা হ'ল। তারপর T/8 সময়ের ব্যবধানে (T যখন পর্যায়কাল) x- ও y-কম্পনশীল কণা যথাক্রমে A ও M বিন্দুতে থাকবে। সুতরাং লব্ধি কম্পনের 'কণা'-র অবস্থান 2। আরও T/8 সময় পরে অনুরূপভাবে লব্ধি অবস্থান হবে 3। এইভাবে সমগ্র পর্যায়কালের জন্য লব্ধি অবস্থানগুলি পরপর সংখ্যা দ্বারা চিহ্নিত ক'রে তাদের অবস্থানগুলিকে বক্ররেখা দ্বারা যোগ করলে দক্ষিণাবর্তী ভাবে ঘূর্ণনশীল একটি উপবৃত্ত LPANQC পাওয়া যাবে। সুতরাং লব্ধি ঘূর্ণন দক্ষিণাবর্তী।

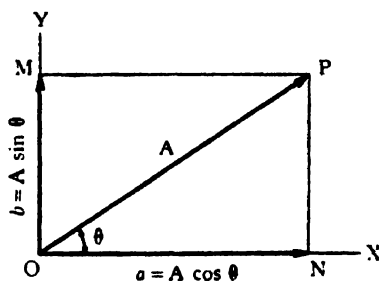
y-কম্পন অগ্রবর্তী দশায় থেকে দশার ব্যবধান 0 থেকে 2π পর্যন্ত পরিবর্তিত হ'লে বিভিন্ন দশার ব্যবধানে লব্ধি কম্পনের আকার, উপবৃত্তীয় অক্ষদ্বয়ের অবস্থান এবং ঘূর্ণনের দিক কিরকম হবে তার কয়েকটি চিত্র দেওয়া হ'ল :

চিত্র ১০৯

এখানে y-কম্পনের দশা অগ্রবর্তী।

৬'৫ উপবৃত্তীয় সমবর্তন উৎপাদন :

এই সম্বন্ধে মূলনীতি পূর্বেই বলা হয়েছে। পূর্বের ১০০-তম চিত্রে উৎপাদনের পদ্ধতিও বর্ণিত হয়েছে। সমতল-সমবর্তিত একবর্ণীয় আলোক যদি কোনও মন্দক পাতের উপর লম্বভাবে পড়ে তাহ'লেই নির্গত আলোক উপবৃত্তীয়ভাবে সমবর্তিত হবে।

ধরা যাক, সমতল সমবর্তকের সঞ্চালন তল OP-র সমান্তরাল। সুতরাং OP বরাবর কম্পনশীল সমতল-সমবর্তিত আলোক মন্দক পাতের উপর আপতিত হচ্ছে। ধরা যাক, এই কম্পনের বিস্তার A এবং মন্দক পাতের

দুটি সঞ্চালন তল যথাক্রমে OX এবং OY-এর সমান্তরাল। অর্থাৎ এদের একটি ধীরাক্ষ এবং অপরটি দ্রুতাক্ষ। OP-র সঙ্গে X-অক্ষ θ কোণে আনত হ'লে OX এবং OY বরাবর বিস্তারের উপাংশ হবে যথাক্রমে $A \cos \theta$ এবং $A \sin \theta$।

চিত্র ১১০

আমাদের পূর্বের আলোচনা অনুসারে $A \cos \theta = a$ এবং $A \sin \theta = b$ হবে। যদি $\theta = 45°$ হয়, তাহ'লে $\cos \theta = \sin \theta = \frac{1}{\sqrt{2}}$, সুতরাং $a = b$ হবে।

সাধারণত একটি $\frac{\lambda}{4}$ পাতকে মন্দক পাত হিসাবে নেওয়া হয়। সুতরাং লব্ধি কম্পন উপবৃত্তীয় এবং উপবৃত্তের অক্ষদ্বয় মন্দক পাতের সঞ্চালন অক্ষদ্বয় OX এবং OY-এর উপর সমাপতিত হবে। অধিকন্তু যদি $\theta = 45°$ হয়, তাহ'লে লব্ধি কম্পন হবে বৃত্তীয়। একেই বলা হয় **বৃত্তীয় সমবর্তন** (Circular polarisation)।

৬·৬ সমবর্তিত আলোকের বিশ্লেষণ :

ধরা যাক, একটি আলোকের রশ্মিগুচ্ছকে বিশ্লেষণ ক'রে দেখতে হবে ঐ আলোক সমবর্তিত অথবা অসমবর্তিত এবং সমবর্তিত হ'লে কোন্ ধরনে সমবর্তিত। রশ্মিগুচ্ছটি নিম্নলিখিত যে কোনও প্রকৃতির হ'তে পারে :

১। অসমবর্তিত আলোক।

২। সমতল-সমবর্তিত আলোক।

৩। উপবৃত্তীয়ভাবে সমবর্তিত আলোক।

৪। বৃত্তীয়ভাবে সমবর্তিত আলোক।

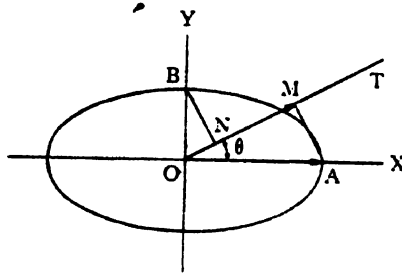
৫। অসমবর্তিত আলোকের সঙ্গে পূর্বের দ্বিতীয় থেকে চতুর্থ ধরনের যে কোনও প্রকারে সমবর্তিত আলোকের মিশ্রণ।

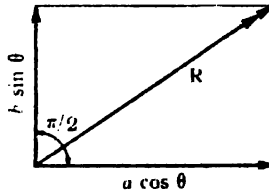
এইসমস্ত প্রকৃতি-বিশিষ্ট আলোকের বিশ্লেষণ-পদ্ধতিগুলি একে একে আলোচিত হ'ল ঃ

১। **অসমবর্তিত আলোক ঃ** ধরা যাক, একটি অসমবর্তিত রশ্মি-গুচ্ছ কোনও নিকলের সাহায্যে পরীক্ষা করা হচ্ছে। রশ্মিকে অক্ষ ধ'রে নিকলটি ঘোরালে আলোকের তীব্রতার কোনও পরিবর্তন লক্ষ্য করা যাবে না। কারণ নিকলটি যে অবস্থানেই থাক, তার সঞ্চালন তলে কম্পনশীল সমবর্তিত আলোক সর্বদাই নিকলের ভিতর দিয়ে সঞ্চালিত হবে। এখন দ্বিতীয় একটি নিকলকে বিশ্লেষক হিসাবে ব্যবহার করলে ধরা পড়বে যে প্রথম নিকলের যে কোনও অবস্থানে ঐ নিকল থেকে নির্গত আলোকের কম্পন একটি মাত্র দিকে হচ্ছে। সুতরাং যদি একটি নিকল দ্বারা কোনও আলোকের তীব্রতার কোনও হ্রাস-বৃদ্ধি না হয়, কিন্তু পরপর দুটি নিকলের সাহায্যে ঐ আলোককে সম্পূর্ণ বন্ধ করে দেওয়া যায়, তাহ'লে ঐ আলোক অসমবর্তিত হবে।

২। **সমতল-সমবর্তিত আলোক ঃ** এই আলোককে কেবল একটি নিকলের সাহায্যে পরীক্ষা করলে এর প্রকৃতি বুঝতে পারা যাবে। নিকলের সঞ্চালন তল যখন আলোক-কম্পনের সঙ্গে লম্ব, তখন দৃষ্টিক্ষেত্র সম্পূর্ণ অন্ধকার হবে। এইভাবে সমতল-সমবর্তিত আলোককে সনাক্ত করা যায়।

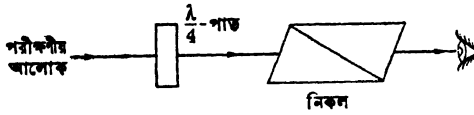
৩। **উপবৃত্তীয়ভাবে সমবর্তিত আলোক ঃ** ধরা যাক, কোনও উপবৃত্তীয়ভাবে সমবর্তিত আলোককে একটি নিকলের সাহায্যে পরীক্ষা করা হচ্ছে। নিকলটির সঞ্চালন তল হচ্ছে OT। তাহ'লে উপবৃত্তীয় কম্পনের দুটি বিশ্লেষিতাংশ OA এবং OB-র OT বরাবর উপাংশ হবে যথাক্রমে OM ও ON এবং তাদের লব্ধি কম্পন নিকল দ্বারা সঞ্চালিত হবে। নিকলটি ঘোরালে তার সঞ্চালন তলের বিভিন্ন অবস্থানের জন্য এই সঞ্চালিত কম্পনের বিস্তার এবং তার সঙ্গে সঞ্চালিত আলোকের তীব্রতার হ্রাস-বৃদ্ধি ঘটবে। দেখানো যায়, উপবৃত্তের পরাক্ষ OA-র সঙ্গে OT সমান্তরাল হ'লে এই লব্ধি বৃহত্তম এবং OB-র সঙ্গে সমান্তরাল হ'লে ক্ষুদ্রতম হবে। প্রমাণটি

পরে বন্ধনীর মধ্যে দেওয়া হ'ল। সুতরাং উপবৃত্তীয় সমবর্তিত আলোক কেবল একটি নিকল দ্বারা পর্যবেক্ষণ করলে নিকলটির 360° ঘূর্ণনের বিভিন্ন অবস্থানে নির্গত আলোকের তীব্রতা দু-বার চরম ও দু-বার অবম মানের হবে।

চিত্র ১১১

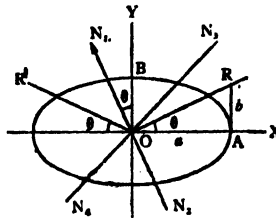
[$a\cos\theta$ এবং $b\sin\theta$ ভেক্টর দুটির মধ্যে দশার ব্যবধান $\frac{\pi}{2}$, সুতরাং ভেক্টর-যোগের নিয়ম অনুসারে তাদের লব্ধি $R^2 = a^2\cos^2\theta + b^2\sin^2\theta = (a^2 - b^2)\cos^2\theta + b^2$। এখন, $\theta = 0$ হ'লে, R^2-এর

চিত্র ১১২

চরম মান a^2 পাওয়া যাবে। আবার, $\theta = \frac{\pi}{2}$ হ'লে, R^2-এর অবম মান হবে b^2।]

এখন ধরা যাক, উপবৃত্তীয় আলোকের পথে একটি $\frac{\lambda}{4}$ পাত রাখা হ'ল। $\frac{\lambda}{4}$ পাত দুটি পরস্পর লম্ব কম্পনের মধ্যে $\frac{\pi}{2}$ দশার ব্যবধান উৎপন্ন করে। আবার আমরা জানি উপবৃত্তীয় কম্পনের অক্ষদুটিকে স্থানাঙ্ক অক্ষ ধরলে,

পরস্পর লম্ব কম্পন দুটির মধ্যে দশার ব্যবধান $\delta = \frac{\pi}{2}$ হয়। এখন আলোক-রশ্মিকে অক্ষ ক'রে $\frac{\lambda}{4}$ পাতটিকে প্রয়োজনমতো ঘুরিয়ে পাতটির মূল অক্ষ-দুটিকে উপবৃত্তীয় অক্ষদ্বয়ের সমান্তরাল করা হ'ল। তাহ'লে $\frac{\lambda}{4}$ পাতটি লম্ব কম্পন দুটির মধ্যে আরও $\pm\frac{\pi}{2}$ দশার ব্যবধান উৎপন্ন করবে। সুতরাং $\frac{\lambda}{4}$ পাত থেকে নির্গত আলোকে লম্ব কম্পন দুটির মধ্যে দশার ব্যবধান দাঁড়াবে $\frac{\pi}{2} \pm \frac{\pi}{2}$, অর্থাৎ π, অথবা 0। অতএব $\frac{\lambda}{4}$ পাত থেকে নির্গত আলোকের কম্পন হবে রৈখিক (১০৭ চিত্র অনুসারে)। সুতরাং এই পদ্ধতিতে উপবৃত্তীয় সমবর্তিত আলোককে কার্যত সমতল-সমবর্তিত আলোকে পরিণত করা যাবে।

চিত্র ১১৩

এই সমতল-সমবর্তিত আলোক একটি নিকলের সাহায্যে পরীক্ষা করে তার কম্পনের দিক নির্ণয় করা যাবে।

পরীক্ষার পরিকল্পনাটি ১১৪ চিত্রে দেখানো হ'ল। এই চিত্রে OR

চিত্র ১১৪

হচ্ছে $\frac{\lambda}{4}$ পাত থেকে নির্গত রৈখিক কম্পনের নির্দেশক। N_1N_2 হচ্ছে নিকলের সঞ্চালন তলের ছেদ। N_1N_2 যখন OR-এর সঙ্গে ঠিক লম্ব তখন নিকল দিয়ে কোনও আলোক নির্গত হবে না।

এখন উপবৃত্তীয়ভাবে সমবর্তিত আলোকের বিশ্লেষণে কম্পনটি উপবৃত্তীয় কেবল এই তথ্য জানাই যথেষ্ট নয়। তা ছাড়াও যে-সকল তথ্য জানা প্রয়োজন, তারা হচ্ছে :

(ক) উপবৃত্তের অক্ষদুটির অবস্থান (Orientation of the axes)।

(খ) অক্ষদ্বয়ের অনুপাত।

(গ) উপবৃত্তের বিশ্লেষিতাংশ লম্ব কম্পন দুটির মধ্যে দশার ব্যবধান।

(ঘ) ঘূর্ণনের দিক (দক্ষিণাবর্তী কি বামাবর্তী)।

দশার ব্যবধান $\frac{\lambda}{4}$ পাত দ্বারা নির্ণয় করা সবক্ষেত্রে সম্ভব নয়। কিন্তু অপর তিনটি জ্ঞাতব্য বিষয় জানা যেতে পারে। $\frac{\lambda}{4}$ পাতটির যে অবস্থানে নিকলের দ্বারা আলোক সম্পূর্ণ বন্ধ করে দেওয়া যায়, সেই অবস্থানে $\frac{\lambda}{4}$ পাতের মূল অক্ষদ্বয় উপবৃত্তের অক্ষদ্বয়ের সমান্তরাল। সুতরাং এই অবস্থানে $\frac{\lambda}{4}$ পাতের অক্ষদ্বয়ই উপবৃত্তের অক্ষদ্বয়ের অবস্থান নির্দেশ করে।

দ্বিতীয়ত, অক্ষদ্বয়ের অনুপাত $\frac{b}{a}=\tan\theta$। এখন ১১৪শ চিত্রে $\frac{\lambda}{4}$ পাত থেকে নির্গত রৈখিক কম্পনের দিক যদি OR হয়, তাহ'লে তার সঙ্গে সমকোণে অবস্থিত নিকলের মুখ্য দিক N_1N_2। এই N_1N_2-র সঙ্গে $\frac{\lambda}{4}$ পাতের Y-অক্ষ θ কোণে আনত হবে। $\frac{\lambda}{4}$ পাত ও নিকলের এইসমস্ত মুখ্য দিক (principal directions) চিহ্নিত থাকে। সুতরাং কৌণিক ভার্নিয়ারের সাহায্যে θ-র মান সূক্ষ্মভাবে নির্ণয় করা যাবে। এখন $\tan\theta=\frac{b}{a}$ থেকে অক্ষদ্বয়ের অনুপাত পাওয়া যাবে।

ঘূর্ণনের দিক নির্ণয় করতে হ'লে একটা হিসাবের প্রয়োজন। ধরা যাক, $\frac{\lambda}{4}$ পাতটি পজিটিভ কেলাসের এবং তার Y-অক্ষ (আলোক-অক্ষ) ধীরাক্ষ।

সুতরাং তার ভিতর দিয়ে যাবার সময়ে y-কম্পন x-কম্পনের তুলনায় দশায় $\frac{\pi}{2}$ পশ্চাদ্‌বর্তী হবে। এখন উপবৃত্তীয় কম্পনের Y-উপাংশ যদি $\frac{\pi}{2}$ দশায় অগ্রবর্তী থাকে, তাহ'লে $\frac{\lambda}{4}$ পাতের দ্বারা উৎপন্ন $\frac{\pi}{2}$ দশার পশ্চাদ্‌বর্তিতা তার সঙ্গে মিলিত হয়ে দশার ব্যবধান $\frac{\pi}{2}-\frac{\pi}{2}$ বা শূন্য হবে। সুতরাং $\frac{\lambda}{4}$ পাত থেকে নির্গত রৈখিক কম্পন OR বরাবর হবে। তাকে বন্ধ করতে হলে নিকলের অবস্থান হবে N_1N_2। সুতরাং নিকলের N_1N_2 অবস্থানে দৃষ্টিক্ষেত্র অন্ধকার হ'লে, মূল উপবৃত্তীয় কম্পনে Y-কম্পন অগ্রবর্তী এবং ঘূর্ণন হবে দক্ষিণাবর্তী।

কিন্তু উপবৃত্তীয় কম্পনের Y-উপাংশ পশ্চাদ্‌বর্তী দশায় থাকলে, তার সঙ্গে আরও $\frac{\pi}{2}$ পশ্চাদ্‌বর্তী দশা যুক্ত হয়ে নির্গত আলোকে ঐ দশার ব্যবধান হবে $-\frac{\pi}{2}-\frac{\pi}{2}=-\pi$। তখন লব্ধি কম্পন OR′ এর দিকে হবে এবং নিকলকে N_3N_4 অবস্থানে রাখলে আলো বন্ধ হবে। এক্ষেত্রে ঘূর্ণন বামাবর্তী।

৪। **বৃত্তীয়ভাবে সমবর্তিত আলোক:** এক্ষেত্রে কেবল একটি নিকল দ্বারা রশ্মিগুচ্ছকে পরীক্ষা করলে নিকলের ঘূর্ণনের দ্বারা রশ্মির তীব্রতার কোনও পরিবর্তন হবে না। কিন্তু যদি প্রথমে রশ্মির পথে একটি $\frac{\pi}{4}$ পাত রাখা হয় তাহ'লে বৃত্তীয় কম্পনের দুটি উপাংশের মধ্যে যে $\frac{\pi}{2}$ দশার পার্থক্য আছে, তার সঙ্গে $\frac{\lambda}{4}$ পাত দ্বারা উৎপন্ন অতিরিক্ত দশার পার্থক্য $\frac{\pi}{2}$ যুক্ত হবে। সুতরাং লব্ধি দশার পার্থক্য হবে $\frac{\pi}{2}\pm\frac{\pi}{2}$, অর্থাৎ π, অথবা 0। এক্ষেত্রেও $\frac{\lambda}{4}$ পাত থেকে নির্গত আলোক হবে সমতল-সমবর্তিত। এই আলোককে একটি নিকল দ্বারা বিশ্লেষণ করলে তার প্রকৃতি বুঝতে পারা যাবে।

৫। যে কোনও দুই প্রকারের আলোকের মিশ্রণ (নানারকমের মিশ্রণকে বিশ্লেষণ করার পদ্ধতি দেওয়া হ'ল):

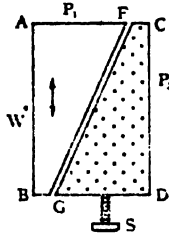
সমবর্তিত ও অসমবর্তিত আলোকের মিশ্রণ: এক্ষেত্রে একটি নিকলকে রশ্মির পথে রেখে রশ্মিকে অক্ষ করে ঘোরালে, নিকল থেকে নির্গত আলোকের তীব্রতা চরম ও অবম মানের মধ্যে পরিবর্তিত হবে কিন্তু কখনও শূন্যমানের হবে না। সমবর্তিত আলোকের কম্পন তলের সঙ্গে নিকলের সঞ্চালন তল লম্ব হ'লে সমবর্তিত আলোক সম্পূর্ণ বাধা পাবে, কিন্তু সমান্তরাল হ'লে সমবর্তিত আলোক বিনা বাধায় সঞ্চালিত হবে। পরীক্ষাধীন আলোকের অসমবর্তিত অংশ অবশ্য নিকলের যে কোনও অবস্থানে সমবর্তিত আলোকের আকারে নির্গত হবে। এই দুটি কম্পনের লব্ধি কম্পন নিকল দ্বারা নির্গত হবে। এই দিক থেকে বিচার করলে এই মিশ্র আলোক এবং উপবৃত্তীয়ভাবে সমবর্তিত আলোক একই রকম মনে হবে। অবশ্য একটি $\frac{\lambda}{4}$ পাত ব্যবহার করলে উপবৃত্তীয় আলোককে সনাক্ত করা যাবে।

অসমবর্তিত ও বৃত্তীয়ভাবে সমবর্তিত আলোকের মিশ্রণ: একটি নিকল দ্বারা এই মিশ্র আলোককে পরীক্ষা করলে নিকলের সকল অবস্থানে একই তীব্রতা পাওয়া যাবে। এই হিসাবে দেখালে অসমবর্তিত আলোকের সঙ্গে এর কোনও তফাত নেই। অবশ্য $\frac{\lambda}{4}$ পাত ব্যবহার করলে এই পার্থক্য ধরা সম্ভব।

অসমবর্তিত ও উপবৃত্তীয়ভাবে সমবর্তিত আলোকের মিশ্রণ: মাত্র একটি নিকল দিয়ে এই আলোক পরীক্ষা করলে নিকলের একবার পূর্ণ ঘূর্ণনে আলোকের তীব্রতা দু-বার চরম ও দু-বার অবম মানের হবে। সুতরাং বিশুদ্ধ উপবৃত্তীয় সমবর্তিত আলোকের সঙ্গে এই আলোক একরকম মনে হবে। এখানেও $\lambda/4$ পাতের সাহায্যে উভয়ের পার্থক্য নির্ণয় করা সম্ভব।

৬·৭ ব্যাবিনেটের পরিপূরক (Babinet's Compensator):

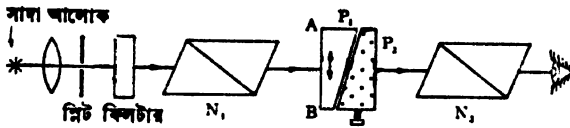
পাদ-তরঙ্গ পাত, অর্ধতরঙ্গ পাত প্রভৃতি মন্দক পাতের প্রধান অসুবিধা হচ্ছে—তারা যে তরঙ্গদৈর্ঘ্যের জন্য নির্মিত কেবল সেই তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোক-বিশ্লেষণের ক্ষেত্রে কার্যকর হয়। ব্যাবিনেটের উদ্ভাবিত পরিপূরক যন্ত্রটি এই ত্রুটি থেকে মুক্ত, অর্থাৎ তাকে যে কোনও তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোকের জন্য

উপযোজিত করা যায়। ব্যাবিনেটের পরিপূরকের সাহায্যে উপবৃত্তীয়ভাবে সমবর্তিত আলোকের বিশ্লেষণ খুব সুষ্ঠুভাবে করা যায়।

চিত্র ১১৫

ব্যাবিনেটের পরিপূরক।

বর্ণনা: কোয়ার্জে নির্মিত দুটি খুব পাতলা গোঁজ-আকৃতির (wedge-shaped) প্রিজ্‌ম্ P_1 এবং P_2-কে তাদের অতিভূজ তল FG বরাবর প্রায় সংলগ্ন অবস্থায় রেখে পরিপূরকটি তৈয়ারী করা হয়। P_1 ও P_2-র আলোক-অক্ষ পরস্পর লম্ব। চিত্রে দেখা যাচ্ছে P_1-এর আলোক-অক্ষ AB প্রান্তের সমান্তরাল কিন্তু P_2-র আলোক-অক্ষ চিত্রের তলের সঙ্গে সমকোণে অবস্থিত এবং বিন্দু-চিহ্ন দ্বারা সূচিত। P_2-র সঙ্গে যুক্ত একটি স্ক্রু S-কে ঘুরিয়ে P_2-কে CD প্রান্তের সমান্তরালভাবে স্থানান্তরিত করা যায়। S-এর সঙ্গে মাইক্রোমিটার স্কেল যুক্ত থাকে এবং P_2-র সরণকে খুব সূক্ষ্মভাবে মাপা যায়। দুটি গোঁজ-আকৃতির প্রিজ্‌ম্ মিলে ঠিক পূর্বে বর্ণিত একটি পাতলা উয়োলাস্টন প্রিজ্‌ম্ গঠন করে। P_1 প্রিজ্‌মের মাঝামাঝি অবস্থানে প্রিজ্‌মের সঙ্গে সংলগ্নভাবে একটি সরু কালো রেশমের সুতা AB প্রান্তের সঙ্গে লম্বভাবে মোম বা আঠা দিয়ে দু-প্রান্ত জুড়ে এঁটে দেওয়া হয়। চিত্রে W-বিন্দুটি সুতাটির প্রস্থচ্ছেদ।

ক্রমাঙ্কন (Calibration): ব্যবহারের পূর্বে পরীক্ষণীয় আলোকের সম-তরঙ্গদৈর্ঘ্য-বিশিষ্ট আলোকের জন্য যন্ত্রটিকে ক্রমাঙ্কন করে নিতে হয়। ফিলটারের সাহায্যে সাদা আলোক থেকে প্রয়োজনীয় তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোক বেছে নিয়ে একটি নিকল N_1-এর উপর ফেলা হয়। এখন পরিপূরককে মাঝখানে না রেখে দ্বিতীয় একটি নিকল N_2-কে N_1-এর সঙ্গে বিষম অবস্থানে উপযোজন করা হয়। পরিপূরক মাঝখানে না থাকলে, দৃষ্টিক্ষেত্র সম্পূর্ণ অন্ধকার হবে। এখন পরিপূরককে N_1 ও N_2-র মাঝখানে রাখা

হয়। এই অবস্থায় দেখা যাবে দৃষ্টিক্ষেত্রটি আলোকিত কিন্তু মাঝে মাঝে সম-ব্যবধানে রেশমের সুতার সঙ্গে সমান্তরাল কালোরেখা। এই রেখাগুলির উৎপত্তির কারণ নীচের যুক্তি অনুসরণ করলে বোঝা যাবে।

চিত্র ১১৬

N_1 নিকল থেকে নির্গত আলোক সমতল-সমবর্তিত। এই আলোক P_1 প্রিজ্‌মে প্রবেশ করা মাত্র আলোক-অক্ষের সঙ্গে সমান্তরাল ও লম্ব অর্থাৎ যথাক্রমে E-কম্পন ও O-কম্পনে বিশ্লিষ্ট হবে। এই দুটি কম্পন যে স্থানে P_1-কে অতিক্রম করবে, ধরা যাক, সেই স্থানে P_1 প্রিজ্‌মের বেধ e_1। এখন

চিত্র ১১৭

গৃহীত আলোকের ক্ষেত্রে কোয়ার্জে সাধারণ ও ব্যতিক্রান্ত প্রতিসরাঙ্ক μ_o ও μ_e হলে, P_1-এর দ্বারা দুটি কম্পনের মধ্যে উৎপন্ন পথ-ব্যবধান হবে :

$$x_1 = (\mu_e - \mu_o)e_1 \quad [\text{ যেহেতু পজিটিভ কেলাস কোয়ার্জে } \mu_e > \mu_o \text{ }]$$

AB-র সঙ্গে সমান্তরাল কম্পনকে y-কম্পন ধরলে, এই পথ-ব্যবধানে y-কম্পন অগ্রবর্তী।

এখন এই দুটি কম্পন যখন P_2-র মধ্যে প্রবেশ করবে তখন তাদের কম্পনের দিক পরিবর্তিত হবে না। কিন্তু P_1-এ যে কম্পন ছিল আলোক-অক্ষের সমান্তরাল, P_2-তে তাই হবে আলোক-অক্ষের লম্ব। আবার P_1-এ যে কম্পন ছিল আলোক-অক্ষের লম্ব, P_2-তে তাই হবে আলোক-অক্ষের সমান্তরাল। সুতরাং কম্পনদ্বয় ঠিক যেন তাদের প্রকৃতির আদান-প্রদান করবে। অর্থাৎ P_2-প্রিজ্‌মে প্রবেশের সময়ে সাধারণ রশ্মি ব্যতিক্রান্ত রশ্মিতে

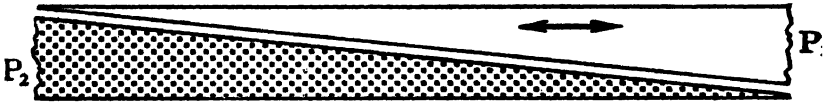
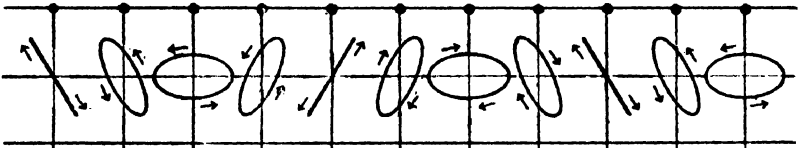
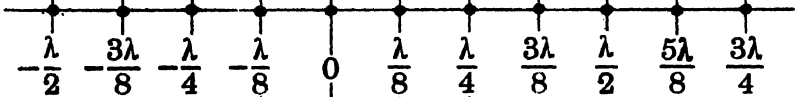
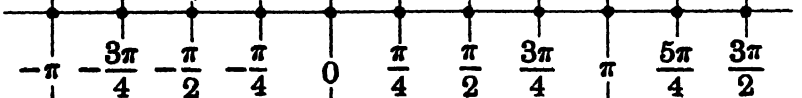
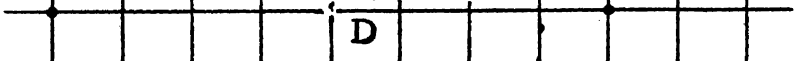
এবং ব্যতিক্রান্ত রশ্মি সাধারণ রশ্মিতে পরিণত হবে। সুতরাং দ্বিতীয় প্রিজ্‌মে তাদের মধ্যে উৎপন্ন পথ-ব্যবধান হবে :

$$x_2 = -e_2(\mu_e - \mu_o)$$

যখন e_2 = আলোচ্য স্থানে দ্বিতীয় প্রিজ্‌মের বেধ। এখানে নেগেটিভ চিহ্ন দ্বারা y-কম্পনের পশ্চাদ্বর্তিতা সূচিত হচ্ছে।

অতএব লব্ধি পথ-ব্যবধান হবে, $x = x_1 + x_2 = (e_1 - e_2)(\mu_e - \mu_o)$ ... (i)

এখন পরিপূরকটির উপর B থেকে A পর্যন্ত (চিত্র ১১৭) বিভিন্ন স্থানে $(e_1 - e_2)$-র মান বিভিন্ন হবে। যে-সকল স্থানে $x = n\lambda$, যখন $n = 0$,

চিত্র ১১৮

1, 2, 3 ইত্যাদি, সেইসকল স্থানে পরিপূরকটি N_1 নিকল থেকে আপতিত আলোকে তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পূর্ণ গুণিতক পথ-ব্যবধান উৎপন্ন করবে। সুতরাং পরিপূরক দ্বারা উৎপন্ন লব্ধি কম্পন ঠিক তার উপর আপতিত কম্পনের মতো সরলরৈখিক এবং একই অভিমুখী হবে। অতএব ঐসকল স্থান থেকে নির্গত আলোক দ্বিতীয় নিকল N_2 দ্বারা সম্পূর্ণ বাধাপ্রাপ্ত হবে, কারণ N_2 নিকল N_1-এর সঙ্গে বিষম অবস্থানে আছে। তার ফলে দৃষ্টিক্ষেত্রে ঐসকল স্থানে AB প্রান্তের সঙ্গে লম্ব কালোরেখা দেখতে পাওয়া যাবে। কিন্তু পরিপূরকের উপর অন্যান্য স্থানে পথ-ব্যবধান তরঙ্গদৈর্ঘ্যের কোনও পূর্ণ গুণিতক নয়, সুতরাং সেইসকল স্থান থেকে নির্গত আলোক উপবৃত্তীয়ভাবে সমবর্তিত হবে। অতএব N_2 নিকলের দ্বারা তাদের কিছু অংশ সঞ্চালিত হবে [কেবল নিকল দ্বারা উপবৃত্তীয় সমবর্তিত আলোকের পরীক্ষা সম্বন্ধে পূর্বে এ-কথা বলা হয়েছে]। সুতরাং N_2 নিকলের পরে দৃষ্টিক্ষেত্রটি হবে সাধারণভাবে সর্বত্র আলোকিত কিন্তু তার মধ্যে সমান ব্যবধানে অবস্থিত হবে কালো-কালো সমান্তরাল সরলরেখা। বিভিন্ন স্থানে বিভিন্ন পথ-ব্যবধান ও দশার পার্থক্যের জন্য কী ধরনের লব্ধি কম্পন হবে, ১১৮-তম চিত্রের সাহায্যে তা বুঝিয়ে দেওয়া হয়েছে।

যেখানে $e_1 - e_2 = 0$, সেখানে যে কালোরেখাটি পাওয়া যায় তাকে কেন্দ্রীয় কালোরেখা (central dark band) বলে। একবর্ণের আলোকের পরিবর্তে সাদা আলো দ্বারা দৃষ্টিক্ষেত্র আলোকিত করলে কেবল কেন্দ্রীয় কালোরেখাটিই কালো দেখা যাবে, কিন্তু অন্যান্য স্থানে রঙীন রেখা দেখা যাবে। এইভাবে কেন্দ্রীয় রেখাটিকে সনাক্ত করা যায়।

কালোরেখাগুলির সঙ্গে সমান্তরালভাবে রেশমী সুতার সূচকসূত্রটি (cross-hair) P_1 প্রিজ্‌মের মাঝখানে সংলগ্ন থাকে। S স্ক্রু-টি ঘুরিয়ে P_2 প্রিজ্‌মকে স্থানান্তরিত করলে কালোরেখাগুলি সূচকসূত্রের উপর দিয়ে সমান্তরালভাবে সরে যেতে থাকে। একটি কালোরেখা থেকে পরবর্তী রেখা পর্যন্ত স্থানান্তর করতে S_2 স্ক্রু-র যতখানি সরণ হয় তা স্ক্রু-সংলগ্ন বৃত্তীয় স্কেল থেকে মাপা যায়। একেই বলা হয় যন্ত্রটির ক্রমাঙ্কন (calibration)।

ধরা যাক, $2x$ সেমি. = একটি কালোরেখা থেকে পরবর্তী রেখা পর্যন্ত সূচকসূত্রের স্থানান্তর-ক্রিয়ার জন্য P_2-র প্রয়োজনীয় সরণ।

অতএব বলা যায়, $2x$ সেমি. $= 2\pi$ রেডিয়ান দশার ব্যবধানের জন্য সরণ।

$\therefore$ 1 সেমি. $= \dfrac{\pi}{x}$ রেডিয়ান দশার ব্যবধানের জন্য প্রয়োজনীয় সরণ।

এই সূত্রকেই ক্রমাঙ্কনের সূত্র বলা হয়।

আবার, 2π রেডিয়ান দশার ব্যবধান $\equiv \lambda$ পথ-ব্যবধান।

$\therefore$ $2x$ সেমি. সরণ প্রয়োজন হয়, λ পথ-ব্যবধান উৎপন্ন করতে

$\therefore$ 1 " " " " $\dfrac{\lambda}{2x}$ " " "

উপবৃত্তীয়ভাবে সমবর্তিত আলোকের বিশ্লেষণ

(ব্যাবিনেটের পরিপূরকের সাহায্যে)

ধরা যাক, কোনও একবর্ণীয় উপবৃত্তীয়ভাবে সমবর্তিত আলোক দেওয়া আছে। ঐ আলোককে বিশ্লেষণ করতে হবে। পূর্বে বলা হয়েছে, বিশ্লেষণ করার অর্থ নিম্নলিখিত বৈশিষ্ট্যগুলি নির্ধারণ করা :

১। উপবৃত্তের পরস্পর লম্ব উপাংশগুলির মধ্যে দশার পার্থক্য নির্ণয়।

২। উপবৃত্তের অক্ষগুলির অবস্থান নির্ণয়।

৩। উপবৃত্তের অক্ষগুলির (দৈর্ঘ্যের) অনুপাত নির্ণয়।

৪। ঘূর্ণনের দিক নির্ণয়।

প্রথমে ব্যাবিনেটের পরিপূরকের দু-পাশে দুটি বিষম অবস্থানে স্থিত নিকল রেখে পরীক্ষণীয় আলোকের সমান তরঙ্গদৈর্ঘ্যবিশিষ্ট আলোকের সাহায্যে পরিপূরকটির পূর্বে বর্ণিত পদ্ধতিতে ক্রমাঙ্কন করতে হবে। ধরা যাক,

δ রেডিয়ান দশার ব্যবধানের জন্য প্রয়োজনীয় সরণ হ'ল $\dfrac{x\delta}{\pi}$ সেমি.।

এখন সাদা আলোক দ্বারা দৃষ্টিক্ষেত্রকে আলোকিত ক'রে সূচকসূত্রটি কেন্দ্রে আনতে হবে। এইজন্য S স্ক্রু র সাহায্যে P_2 প্রিজ্‌মকে প্রয়োজনানুযায়ী সরাতে হবে যতক্ষণ না কেন্দ্রীয় কালোরেখাটি সূচকসূত্রের উপর আসে।

(ক) এখন অন্য আলোকের উৎস এবং প্রথম নিকল N_1-কে অপসারিত

ক'রে পরিপূরকের উপর পরীক্ষণীয় রশ্মিগুচ্ছকে আপতিত করতে হবে। দেখা যাবে দৃষ্টিক্ষেত্র এখন আলোকিত এবং সমদূরবর্তী কালোরেখায় পূর্ণ। কিন্তু সূচকসূত্রের উপর কোনও কালোরেখা নেই। কেন্দ্রীয় কালোরেখাটি সামান্য স্থানান্তরিত। কারণ পরিপূরকের উপর আপতিত উপবৃত্তীয় কম্পনের দুটি উপাংশের মধ্যে প্রথমেই কিছু দশার ব্যবধান আছে। ঐ ব্যবধান যেখানে পরিপূরকের দ্বারা উৎপন্ন ব্যবধানের দ্বারা ঠিক অপনীত হয়েছে সেইখানে কেন্দ্রীয় কালোরেখাটি স্থানান্তরিত হয়েছে। এখন পরিপূরকের স্ক্রুকে ধীরে ধীরে ঘুরিয়ে P_2 প্রিজ্‌মকে স্থানান্তরিত করে কেন্দ্রীয় কালোরেখাটিকে আবার সূচকসূত্রের উপরে আনতে হবে। সূচকসূত্রের জায়গায় পরিপূরক দ্বারা উৎপন্ন দশার ব্যবধান যদি δ হয় এবং দুটি উপাংশ কম্পনের মধ্যে নির্ণেয় দশার ব্যবধান ϕ হয়, তাহ'লে অবশ্যই δ ও ϕ পরস্পরের পরিপূরক দশার ব্যবধান হবে ; অর্থাৎ,

$$\phi \pm \delta = 0, \text{ অথবা } 2\pi$$

$$\therefore \qquad \phi = \pm\delta, \text{ অথবা } 2\pi \pm \delta$$

অর্থাৎ, কার্যত δ-ই হচ্ছে নির্ণেয় দশার ব্যবধান।

এখন P_2 প্রিজ্‌মের স্ক্রু দ্বারা প্রয়োজনীয় সরণ যদি y সেমি. হয়,

তাহ'লে, $\qquad \delta = \frac{\pi}{x} \cdot y$

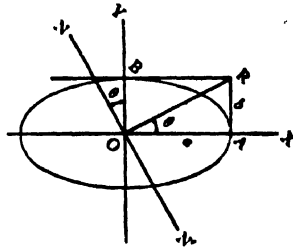
[উল্লেখযোগ্য, পরীক্ষণীয় আলোক-কম্পনের দুটি উপাংশের মধ্যে যে দশার ব্যবধান থাকে তার সঙ্গে অতিরিক্ত দশার ব্যবধান সংযোজন করে লব্ধি ব্যবধানকে প্রয়োজনানুরূপ 0, $\frac{\pi}{2}$ প্রভৃতি করা হয়। এই কারণে যন্ত্রটির নাম পরিপূরক (Compensator)।]

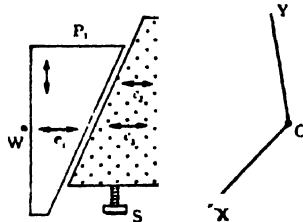
(খ) অক্ষগুলির অনুপাত নির্ণয় করতে হ'লে প্রথমে কেন্দ্রীয় কালোরেখার উপর সূচকসূত্রটি আনতে হবে। এক্ষেত্রে দৃষ্টিক্ষেত্রকে সাদা আলোক দ্বারা আলোকিত করে নিতে হবে। তারপর S স্ক্রুকে এমন পরিমাণ অপসারিত করতে হবে যে সূচকসূত্রের অবস্থানে পথের ব্যবধান $(e_1 \sim e_2)(\mu_e - \mu_o)$ ঠিক $\frac{\lambda}{4}$, অথবা দশার ব্যবধান ঠিক $\frac{\pi}{2}$ হয়। এখন পরীক্ষণীয় উপবৃত্তীয়

আলোক দ্বারা দৃষ্টিক্ষেত্র আলোকিত করা হবে। উপবৃত্তীয় কম্পনের অক্ষগুলি পরিপূরকের অক্ষগুলির সঙ্গে সমান্তরাল না হ'লে, কেন্দ্রীয় কালোরেখাটি সূচকের উপর পড়বে না। কিন্তু আলোক-রশ্মিকে অক্ষ ধরে পরিপূরকটি ধীরে ধীরে ঘোরালে কেন্দ্রীয় কালোরেখাটি স্থানান্তরিত হবে। যতক্ষণ না কেন্দ্রীয় কালোরেখাটি ঠিক সূচকসূত্রের সঙ্গে আবার মিলে যায় ততক্ষণ ঘোরাতে হবে। এইভাবে মিলে গেলে পরিপূরকের অক্ষদ্বয় পরীক্ষণীয় উপবৃত্তীয় কম্পনের অক্ষদ্বয়ের সঙ্গে ঠিক সমান্তরাল হবে। সুতরাং পরিপূরকের উপর চিহ্নিত অক্ষদ্বয়ের দিকই হবে নির্ণেয় উপবৃত্তীয় কম্পনের অক্ষদ্বয়ের দিক।

এর কারণ, আমরা জানি উপবৃত্তের অক্ষদ্বয় স্থানাঙ্ক অক্ষদ্বয়ের সমান্তরাল ধরলে পরস্পর লম্ব উপাংশ কম্পনদ্বয়ের মধ্যে দশার ব্যবধান হয় $\frac{\pi}{2}$। কিন্তু প্রথমেই পরিপূরকের সূচকসূত্রটি $\frac{\pi}{2}$ দশার ব্যবধানে উপযোজিত করা হয়েছে। অতএব সূচকসূত্রের অবস্থানে নির্গত আলোকের উপাংশ কম্পন দুটির মধ্যে লব্ধি দশার ব্যবধান $\frac{\pi}{2} \pm \frac{\pi}{2}$ অর্থাৎ π অথবা 0। উভয়ক্ষেত্রেই লব্ধি কম্পন হবে সরলরৈখিক। কিন্তু π ব্যবধান হ'লে, N_2 নিকলের পূর্বে উপযোজিত অবস্থানে সূচকসূত্রের স্থানে কেন্দ্রীয় রেখাটি ফিরে আসবে না; 0 ব্যবধান হ'লে, আসবে। এইজন্যে প্রয়োজন হ'লে, পরিপূরককে দক্ষিণাবর্তী অথবা বামাবর্তী উভয়দিকে ঘুরিয়ে দেখতে হবে কোন্ ভাবে ঘোরালে তবে কেন্দ্রীয় কালোরেখা সূচকের উপরে আসে।

(গ) পূর্বের পরীক্ষায় অক্ষদ্বয়ের অবস্থান নির্ণয়ের জন্য যে উপযোজন করা হয়েছে সেই অবস্থায় দ্বিতীয় নিকল N_2-র মূল তলের অবস্থান হবে NN'। এক্ষেত্রে OX এবং OY বরাবর দুটি লম্ব কম্পনের মধ্যে দশার ব্যবধান শূন্য হওয়ায়, লব্ধি কম্পন OR কর্ণ দ্বারা সূচিত হবে। অতএব OR-এর সঙ্গে NN' ঠিক সমকোণে অবস্থিত হ'লে, দৃষ্টিক্ষেত্র সম্পূর্ণ অন্ধকার হবে। এখন অক্ষদ্বয়ের অনুপাত $\frac{b}{a} = \tan\theta$, আবার NN'-এর সঙ্গে Y-অক্ষের কোণও θ। অতএব $\frac{b}{a}$-এর মান নির্ণয় করা সম্ভব হবে।

θ কোণের মান সূক্ষ্মভাবে নির্ণয় করার জন্যে N_2 নিকলকে এমনভাবে উপযোজন করতে হবে যাতে দৃষ্টিক্ষেত্র যথাসম্ভব অন্ধকার হয়।

চিত্র ১১৯

(ঘ) ঘূর্ণনের দিক নির্ণয়ের জন্য পৃথক কোনও পরীক্ষার প্রয়োজন হবে না। পূর্বের খ-চিহ্নিত পরীক্ষা থেকেই তা জানা যাবে। আমরা জানি যদি কম্পনের y-উপাংশ 0 থেকে π পর্যন্ত দশায় অগ্রবর্তী হয় তাহ'লে ঘূর্ণন দক্ষিণাবর্তী হবে। এখন পরিপূরকের কোয়ার্জ প্রিজ্‌ম্ দুটিতে আলোক-অক্ষ হচ্ছে ধীরাক্ষ, সুতরাং আলোক-অক্ষ বরাবর কম্পন-দশার পশ্চাদ্‌বর্তী হয়ে পড়বে। এখন

চিত্র ১২০

সূচকসূত্রটি প্রথমে ঠিক কেন্দ্রীয় কালোরেখার উপর রাখা হ'ল। এই অবস্থানে $e_1 = e_2$। তারপর $\frac{\pi}{2}$ দশার ব্যবধান উৎপন্ন করার জন্য, ধরা যাক, P_2 প্রিজ্‌ম্‌কে উপরের দিকে (চিত্রানুযায়ী) স্থানান্তরিত করা হ'ল। তাহ'লে সূচক W-র অবস্থানে $e_3 > e_2$, অর্থাৎ সূচকের অবস্থানে উৎপন্ন দশার ব্যবধান হ'ল $(e_3 - e_2)(\mu_e - \mu_o)$। অর্থাৎ Y-কম্পন P_1-এ যতখানি পশ্চাদ্‌বর্তী হয়েছিল, P_2-তে তদপেক্ষা বেশী অগ্রবর্তী হ'ল। কারণ P_2-তে X-অক্ষ হচ্ছে আলোক-অক্ষ। সুতরাং এই উপযোজনের দ্বারা মোটের উপর

y-কম্পনকে দশায় অগ্রবর্তী করা হ'ল। এখন যদি আলোক-রশ্মিকে অক্ষ ধরে কেবল পরিপূরকটি ঘুরিয়ে কেন্দ্রীয় রেখাকে ঠিক সূচকের উপর আনা যায় তাহ'লে বুঝতে হবে পরীক্ষণীয় আলোকে y-কম্পন পশ্চাদ্‌বর্তী ছিল, অর্থাৎ পরীক্ষণীয় আলোকে ঘূর্ণন ছিল বামাবর্তী। কিন্তু যদি কেবল পরিপূরক ঘুরিয়ে (N_2-কে না ঘুরিয়ে) কেন্দ্রীয় কালোরেখাকে সূচকের উপর আনতে হ'লে প্রথমে P_2-কে নীচে নামিয়ে $\frac{\pi}{2}$ দশার ব্যবধানে উপযোজন করতে হয়, তাহ'লে পরীক্ষণীয় আলোকের কম্পন হবে দক্ষিণাবর্তী।

ব্যাবিনেটের পরিপূরকের সুবিধা ও অসুবিধা : ব্যাবিনেটের পরিপূরকের প্রধান সুবিধা হচ্ছে, যে কোনও তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোকের ক্ষেত্রে একে ব্যবহার করা যায়। এ কথা পূর্বেই বলা হয়েছে। অবশ্য প্রত্যেক ক্ষেত্রে যন্ত্রটিকে ক্রমাঙ্কিত করে নিতে হবে। $\frac{\lambda}{4}$ পাতের ক্ষেত্রে এই সুবিধা নেই, কারণ পাতটি কেবল একটি মাত্র তরঙ্গদৈর্ঘ্যের ক্ষেত্রে $\frac{\lambda}{4}$ পাতের মতো কাজ করবে। দ্বিতীয় সুবিধা হচ্ছে কেন্দ্রীয় কালোরেখাটিকে সূচকসূত্র থেকে যে কোনও ব্যবধানে রেখে পরিপূরকের মধ্যে যে কোনও দশার ব্যবধান উৎপন্ন করা যায়। এই পদ্ধতিতেই উপবৃত্তীয় কম্পনের দশার ব্যবধান এবং ঘূর্ণনের দিক নির্ণয় করা যায়। এই যন্ত্রের প্রধান অসুবিধা হ'ল একবর্ণীয় আলোকের বিশ্লেষণেই এটি ব্যবহার করা যায়। বহুবর্ণ আলোক পরীক্ষা করতে হ'লে এর সঙ্গে ফিলটার ব্যবহার করতে হবে।

সারাংশ

একটি সমতল-সমবর্তিত আলোককে কোনও দ্বৈত-প্রতিসারক পাত দ্বারা দুটি পরস্পর লম্ব সুসংগত কম্পনে বিশ্লিষ্ট করলে, তারা আবার মিলিত হয়ে নানাবিধ আকারের কম্পন উৎপন্ন করে। দ্বৈত-প্রতিসারক পাতের মধ্যে পরস্পর লম্ব দুটি কম্পন-বিশিষ্ট তরঙ্গ বিভিন্ন বেগে অগ্রসর হয়। যেদিকের কম্পনশীল তরঙ্গের দ্রুততর বেগ হয়, তাকে বলে দ্রুতাক্ষ এবং তার সঙ্গে লম্ব দিকের অক্ষকে বলে ধীরাক্ষ। উভয় কম্পনের মধ্যে দশার ব্যবধান-উৎপাদক এই পাতকে বলে মন্দক পাত। উৎপন্ন পথ-ব্যবধানের পরিমাণ অনুসারে মন্দক পাতকে $\frac{\lambda}{4}$ পাত, $\frac{\lambda}{2}$ পাত প্রভৃতি বলা হয়। ঐ পাতের দ্বারা উৎপন্ন

পথ-ব্যবধান $= e(\mu_o \sim \mu_e)$, সুতরাং কোনও $\frac{\lambda}{2}$ পাতের বেধ e হ'লে,

$$e(\mu_o \sim \mu_e) = (2n+1)\frac{\lambda}{2} \text{ ।}$$

মন্দক পাত থেকে নির্গত দুটি পরস্পর লম্ব কম্পনের মধ্যে দশার ব্যবধান অনুসারে যে-সমস্ত লব্ধি কম্পন উৎপন্ন হবে, তাদের সাধারণ আকার হচ্ছে উপবৃত্তীয়। কিন্তু দশার ব্যবধান ও বিস্তারের তারতম্য অনুসারে এই লব্ধি কম্পন রৈখিক, বৃত্তীয় প্রভৃতি হতে পারে। উপবৃত্তীয় অক্ষদ্বয়ের অবস্থানও এই দশার ব্যবধানের উপর নির্ভর করবে। দশার ব্যবধান $\frac{\pi}{2}$ হ'লে, উপবৃত্তের অক্ষদ্বয় মন্দক পাতের অক্ষদ্বয়ের সমান্তরাল হবে। অধিকন্তু আপতিত রৈখিক কম্পন যদি পাতের X- এবং Y-অক্ষের সঙ্গে 45° কোণে আনত থাকে তাহ'লে লব্ধি কম্পন হবে বৃত্তীয়। এদেরই উপবৃত্তীয় বা বৃত্তীয়ভাবে সমবর্তিত আলোক বলে।

উপবৃত্তীয় কম্পন পরীক্ষা দ্বারা বিশ্লেষণ করতে হ'লে প্রথমে একটি উপযুক্ত মন্দক পাত $\left(\frac{\lambda}{4} \text{ পাত}\right)$ দ্বারা উপবৃত্তীয় কম্পনকে রৈখিক কম্পনে পরিণত করা হবে। তখন তাকে একটি নিকল দ্বারা পরীক্ষা করা যাবে। এইভাবে কম্পনের প্রকৃতি, উপবৃত্তের অক্ষদ্বয়ের অবস্থান, তাদের অনুপাত এবং উপবৃত্তের ঘূর্ণনের দিক নির্ণয় করা যায়। যে কোনও তরঙ্গদৈর্ঘ্য-বিশিষ্ট একবর্ণীয় উপবৃত্তীয়ভাবে সমবর্তিত আলোককে বিশ্লেষণ করার উপযুক্ত যন্ত্র হচ্ছে ব্যাবিনেটের পরিপূরক। কোয়ার্জের দুটি পাতলা গোঁজকে তাদের কর্ণতল বরাবর সংলগ্ন রেখে এটি তৈয়ারী হয়। উভয় গোঁজের আলোক-অক্ষদ্বয় পরস্পরের সঙ্গে লম্বভাবে থাকে এবং একটিকে স্ক্রু দ্বারা স্থানান্তরিত করা যায়। পরীক্ষণীয় আলোকের সমান তরঙ্গদৈর্ঘ্য-বিশিষ্ট আলোকের সাহায্যে পরিপূরকটি প্রথমে ক্রমাঙ্কিত করে নিতে হয়।

অনুশীলনী

১। উপবৃত্তীয় সমবর্তন কাকে বলে? কি উপায়ে উপবৃত্তীয়ভাবে সমবর্তিত আলোক উৎপন্ন করা যায়?

২। কি কি শর্ত পালিত হ'লে দুটি পরস্পর লম্ব আলোক-কম্পনের

ব্যতিচার উৎপন্ন হবে ? দশার বিভিন্ন ব্যবধানে কি কি বিশেষ ধরনের লব্ধি কম্পন উৎপন্ন হয়, চিত্র-সাহায্যে ব্যাখ্যা কর।

৩। মন্দক পাত কি ? কি পদ্ধতিতে তাদের তৈয়ারী করা হয় ? কোয়ার্জের μ_e এবং μ_o যথাক্রমে 1·553 এবং 1·544। একটি কোয়ার্জের $\frac{\lambda}{4}$ পাতের ক্ষুদ্রতম বেধ কত হবে ?

৪। উপবৃত্তীয়ভাবে সমবর্তিত আলোক উৎপাদনের তত্ত্বটি আলোচনা কর। কি কি বিশেষ ক্ষেত্রে কোন্ কোন্ ধরনের কম্পন উৎপন্ন হয় তার আলোচনা কর। উপবৃত্তের অক্ষদ্বয়ের অবস্থান এবং ঘূর্ণনের দিক কি-ভাবে নির্ণীত হয় উদাহরণ-সহ বুঝিয়ে দাও।

৫। উপবৃত্তীয় সমবর্তন উৎপাদনের একটি সম্পূর্ণ পদ্ধতির সচিত্র বর্ণনা দাও।

৬। উপবৃত্তীয় কম্পনের বিশ্লেষণ বলতে কি বোঝায় ? $\frac{\lambda}{4}$ পাতের সাহায্যে কি-ভাবে এবং কতদূর সাফল্যের সঙ্গে এই বিশ্লেষণ করা যায় ?

৭। ব্যাবিনেটের পরিপূরকের বর্ণনা দাও। এই যন্ত্রটিকে পরিপূরক বলা হয় কেন ? এই যন্ত্রের সাহায্যে উপবৃত্তীয় সমবর্তিত আলোকের নিম্নলিখিত বিশ্লেষণগুলি করার পদ্ধতির পূর্ণ বিবরণ দাও :

(ক) দুটি উপাংশ কম্পনের মধ্যে দশার ব্যবধান নির্ণয়।

(খ) উপবৃত্তের অক্ষগুলির অবস্থান নির্ণয়।

(গ) উপবৃত্তের অক্ষগুলির অবস্থান নির্ণয়।

(ঘ) ঘূর্ণনের দিক নির্ণয়।

৮। সংক্ষিপ্ত টীকা দাও :

(ক) মন্দক পাত, (খ) ধীরাক্ষ ও দ্রুতাক্ষ, (গ) ফ্রেনেল-এর রম্ব, (ঘ) বৃত্তীয় সমবর্তন।

সপ্তম অধ্যায়

সমবর্তিত সমান্তরাল কম্পনের ব্যতিচার : ক্রস্ ও রিং-এর উৎপত্তি

৭·১ সমবর্তিত আলোকের ব্যতিচার (Interference of polarised light) :

পূর্বের অধ্যায়ে যে উপবৃত্তীয় সমবর্তনের আলোচনা করা হয়েছে সেক্ষেত্রে পরস্পর লম্ব দুটি সুসংগত এবং সমবর্তিত কম্পনের সমন্বয়ে উপবৃত্তীয়, বৃত্তীয় প্রভৃতি কম্পনের উৎপত্তি হয় আমরা দেখেছি। কিন্তু সুসংগত কম্পন দুটি যদি সমান্তরাল হয় তাহ'লে অনুকূল অবস্থায় তাদের সমন্বয়ে ব্যতিচারী ঝালর (interference fringes) উৎপন্ন হতে পারে। সুসংগত কম্পন বলতে এমন দুটি কম্পনকে বোঝায় যাদের মধ্যে প্রতিমুহূর্তে ধ্রুবক দশার সম্বন্ধ বর্তমান থাকে। অর্থাৎ কোনও মুহূর্তে তাদের দশার ব্যবধান δ বা 0 হ'লে, প্রত্যেক মুহূর্তে ঐ ব্যবধান তাই থাকবে। যে কোনও উপযুক্ত পুস্তকে আলোকের ব্যতিচার সম্পর্কিত অধ্যায়ে এই সম্বন্ধে বিস্তারিত আলোচনা পাওয়া যাবে। বাস্তবক্ষেত্রে দুটি সুসংগত উৎস মূলত একই উৎস থেকে প্রতিফলন, প্রতিসরণ প্রভৃতি দ্বারা উৎপন্ন করে নেওয়া হয়। যেমন করা হয় লয়েড দর্পণ অথবা ফ্রেনেলের বাইপ্রিজ্‌মে। অবশ্য অধুনা উদ্ভাবিত লেজার রশ্মির (Laser beams) দুটি বিভিন্ন মূল উৎসকেও পরস্পর সুসংগত করা সম্ভব।

বাইপ্রিজ্‌ম্, নিউটনের রিং প্রভৃতি পরীক্ষায় ব্যতিচারী ঝালর পাওয়া যায়। এরা পরপর উজ্জ্বল ও অনুজ্জ্বল পটি (band) দ্বারা গঠিত। এইরকম যেখানে কোনও ব্যতিচারী নকশায় (interference pattern) একটি অন্তর একটি পটি অন্ধকার হয়, তাকে বিলোপকারী ব্যতিচার (Destructive interference) বলে। দুটি সমান্তরাল, সুসংগত এবং সমবিস্তারবিশিষ্ট কম্পন কোনও জায়গায় যদি পরস্পর ঠিক বিপরীত দশায় মিলিত হয় তাহ'লেই সেই জায়গায় বিলোপকারী ব্যতিচার উৎপন্ন হবে। সাধারণ অর্থাৎ অসমবর্তিত সুসংগত আলোক-কম্পনের ক্ষেত্রে এইরকম ব্যতিচার ঘটায় কোনও অসুবিধা হবে না। কারণ অসমবর্তিত আলোকের

ভেক্টরটি প্রতিমুহূর্তে তার অভিমুখাবস্থান (Orientation) পরিবর্তন করে চলেছে। দুটি উৎস সুসংগত হওয়ায় তাদের প্রত্যেকের মধ্যেই প্রতিমুহূর্তে আলোক-ভেক্টরের এই পরিবর্তন চলেছে। তার ফলে যে কোনও মুহূর্তে দুটি ব্যতিচারী কম্পনের অভিমুখাবস্থান সমান্তরাল। কোনও বিন্দুতে তারা সর্বদা সমান্তরাল এবং একই দশার সম্পর্কবিশিষ্ট কম্পনে স্পন্দিত হচ্ছে। সেইজন্যে একটি অন্ধকার বিন্দু সর্বদা অন্ধকার এবং একটি উজ্জ্বল বিন্দু সর্বদা উজ্জ্বল থেকে তাদের সমন্বয়ে একটি স্থায়ী নকশা উৎপন্ন করছে।

বৃত্তীয় ও উপবৃত্তীয় কম্পনের উৎপত্তি হচ্ছে দুটি পরস্পর লম্ব সুসংগত কম্পনের সমন্বয়ে। এদের দ্বারা কোনও অবস্থায়ই বিলোপকারী ব্যতিচার হতে পারে না। তা হ'তে পারে কেবল প্রতিমুহূর্তে পরস্পর সমান্তরাল (অর্থাৎ এক-অভিমুখাবস্থান-বিশিষ্ট) দুটি কম্পন দ্বারা। অতএব আমরা যদি সমবর্তিত আলোকের দ্বারা ঐরকম বিলোপকারী ব্যতিচার উৎপাদন করতে চাই তাহ'লে দুটি সমবর্তিত এবং সুসংগত কম্পনকে সমান্তরাল করা চাই।

ফ্রেনেল এবং অ্যারাগো (Arago) দুটি পরস্পর সমকোণে সমবর্তিত আলোকের কিরণ নিয়ে নানা ভাবে পরীক্ষা করে ঐ দুটি কিরণের মধ্যে বিলোপকারী ব্যতিচার উৎপাদনের শর্তাবলী নির্ণয় করেন। শর্তগুলি নিম্নলিখিতরূপ ঃ

(ক) দুটি সুসংগত কম্পনের ব্যতিচার উৎপাদন করতে হ'লে তাদের সমান্তরাল করা প্রয়োজন।

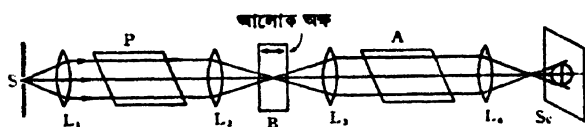
(খ) পরস্পর সমকোণে সমবর্তিত দুটি আলোকের কিরণ যদি একটি অসমবর্তিত আলোকের কিরণ থেকে উৎপন্ন হয় তাহ'লে তাদের সমান্তরাল কম্পনে নিয়ে এলেও ব্যতিচার হবে না।

(গ) একটি সমতল-সমবর্তিত আলোকের কিরণকে দুটি পরস্পর লম্ব কম্পনে বিশ্লিষ্ট করার পর পুনরায় যদি তাদের সমান্তরাল কম্পনে নিয়ে আসা হয়, একমাত্র তখনই তাদের ব্যতিচার উৎপন্ন হবে।

সমতল-সমবর্তিত আলোকের ব্যতিচার উৎপাদন করার বিভিন্ন পদ্ধতি এবং তাদের মূলনীতির আলোচনা ও বিভিন্ন ব্যতিচারী ঝালরের বর্ণনা পরে করা হ'ল।

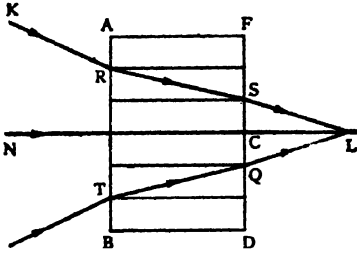
ব্যতিচারের বিভিন্ন উদাহরণ

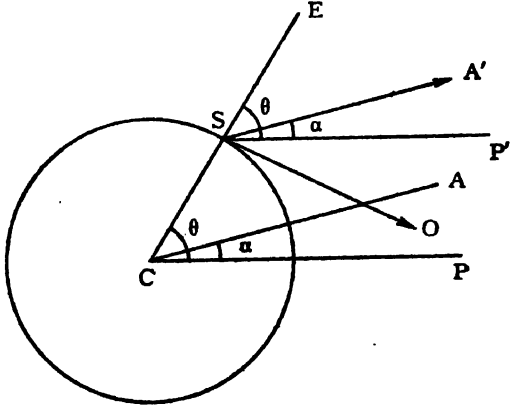
৭·২ অভিসারী (Convergent) সমতল-সমবর্তিত রশ্মি-গুচ্ছের সাহায্যে ব্যতিচার উৎপাদন :

মনে করা যাক, একটি অভিসারী সমতল-সমবর্তিত রশ্মিগুচ্ছ কোনও দ্বৈতপ্রতিসারী কেলাসের ভিতর দিয়ে সঞ্চালিত হ'ল। কেলাসের দুটি বিপরীত সমান্তরাল তলের সঙ্গে লম্বভাবে ঐ কেলাসের আলোক-অক্ষ থাকা চাই। রশ্মিগুচ্ছটি এমনভাবে আপতিত হবে যে তার অক্ষীয় রশ্মি (Axial ray) কেলাসের আপতন তলের সঙ্গে যেন লম্ব হয়। বাস্তবক্ষেত্রে পরীক্ষাটির আয়োজন চিত্র থেকে বুঝতে পারা যাবে। আলোকের উৎস S থেকে নির্গত

চিত্র ১২১

আলোক L_1 লেন্স দ্বারা সমান্তরাল কিরণে এবং নিকল P দ্বারা সমতল-সমবর্তিত আলোকে রূপান্তরিত হ'ল। ঐ আলোক L_2 লেন্স দ্বারা অভিসারী কিরণে পরিণত হয়ে B কেলাসের উপর আপতিত হ'ল। কেলাসের আলোক-অক্ষ তীর-চিহ্ন দ্বারা চিত্রে দেখানো হয়েছে। ঐ রশ্মিগুচ্ছ কেলাস থেকে নির্গত হয়ে লেন্স L_3 দ্বারা আবার সমান্তরাল কিরণে পরিণত হবে। ঐ সমান্তরাল কিরণ-বিশ্লেষক নিকল A এবং অভিসারী লেন্স L_4-এর ভিতর দিয়ে সঞ্চালিত হয়ে Sc পর্দার উপর পড়বে। এই পর্দার উপরই অন্ধকার ঘরে ব্যতিচারী ঝালরের নানাবিধ নকশা দেখতে পাওয়া যাবে। নকশাগুলির ছবি পরে দেওয়া হ'ল। এই নকশাগুলির মোটামুটি বর্ণনা হচ্ছে কতকগুলি সমকেন্দ্রিক রঙীন আংটি বা বৃত্ত। এই আংটিগুলিকে তাদের একটি সাধারণ ব্যাস দ্বারা দুটি অর্ধবৃত্তে অথবা দুটি পরস্পর লম্ব ব্যাস দ্বারা চারটি পাদে বিভক্ত অবস্থায় দেখা যায়। এই ব্যাস বরাবর সাদা বা অন্ধকার পটি থাকতে পারে। এই পটিগুলি কেন্দ্র থেকে পরিধির দিকে ক্রমশ চওড়া হয়ে যায়। আংটিগুলিকে ব্রাশ (Brushes), চারটি পাদে বিভাজক দুটি ব্যাস বরাবর দুটি পটিকে ক্রস্ (Crosses) বলা হয়। এই ব্রাশ ও ক্রসের কোন্ প্রকারের সমন্বয় কি-ভাবে উৎপন্ন হয় তার আলোচনা করা হ'ল।

ধরা যাক, KLM একটি সমতল-সমবর্তিত আলোকের অভিসারী

কিরণ। ঐ কিরণ ABDF কেলাসের AB তলের উপর আপতিত হয়েছে। AB-র সঙ্গে লম্ব রেখাগুলির দ্বারা কেলাসের আলোক-অক্ষের দিক সূচিত হয়েছে। অক্ষীয় রশ্মি NL আলোক-অক্ষের সঙ্গে সমান্তরাল। সুতরাং তার কোনও দ্বৈত-প্রতিসরণ হবে না। কিন্তু তির্যকভাবে আপতিত অন্য একটি রশ্মি, যেমন KRS নেওয়া যাক। ঐ রশ্মিটি আলোক-অক্ষের সমান্তরাল নয়, সুতরাং তার দ্বৈত-প্রতিসরণ হবে।

চিত্র ১২২ (ক)

এই রশ্মির সংশ্লিষ্ট সাধারণ ও ব্যতিক্রান্ত তরঙ্গ যখন কেলাস থেকে নির্গত হবে তখন তাদের মধ্যে পথের ব্যবধান উৎপন্ন হবে। এই পথ-ব্যবধান রশ্মিটির অভিলম্বের সহিত আনতি কোণের উপর নির্ভর করবে। সহজেই দেখা যাচ্ছে, C কেন্দ্র এবং CS ব্যাসার্ধ-বিশিষ্ট একটি বৃত্ত আঁকলে ঐ বৃত্তের পরিধির উপর অবস্থিত প্রত্যেক বিন্দু থেকে নির্গত আলোক-রশ্মির ক্ষেত্রে একই পথ-ব্যবধান উৎপন্ন হবে। ১২২ (খ)-চিহ্নিত চিত্রে, ধরা যাক, S হচ্ছে এই পরিধির উপর অবস্থিত যে কোনও একটি বিন্দু। এই S বিন্দুতে নির্গত রশ্মির ক্ষেত্রে কি-রকম ব্যতিচার উৎপন্ন হবে তাই আমরা লক্ষ্য করবো এবং সমগ্র বৃত্তের উপর প্রত্যেক বিন্দুর ক্ষেত্রে তা প্রযোজ্য হবে।

চিত্র ১২২ (খ)

এখন ধরা যাক, CP = সমবর্তক নিকল P-এর মূল তলের ছেদক রেখা

CA = বিশ্লেষক „ A „ „ „ „

CS = আপতন তলের ছেদক রেখা, যে তলের মধ্যে কেলাসের অক্ষও রয়েছে, অর্থাৎ CS হচ্ছে কেলাসের একটি মৌলিক ছেদ।

α : সমবর্তন ও বিশ্লেষক নিকলের মূল তলের অন্তর্ভূত কোণ।

θ : সমবর্তকের মূল তল CP এবং কেলাসের মৌলিক ছেদ CS-এর অন্তর্ভূত কোণ।

$a \sin \omega t$: CP বরাবর কেলাসের উপর আপতিত সমবর্তিত কম্পন।

এই $a \sin \omega t$ কম্পন কেলাসের মধ্যে প্রবেশ করা মাত্র সাধারণ ও ব্যতিক্রান্ত কম্পনে (যথাক্রমে O-কম্পন এবং E-কম্পনে) বিশ্লিষ্ট হয়ে যাবে। O-কম্পন হবে CS-এর সঙ্গে লম্ব এবং E-কম্পন হবে CS-এর সমান্তরাল, অর্থাৎ যথাক্রমে SO এবং SE-র দিকে। তাদের নিম্নলিখিতভাবে প্রকাশ করা যায় :

$y_e = a \cos \theta \sin \omega t,$ SE-র সমান্তরাল

$y_o = a \sin \theta \sin \omega t,$ SO-র „

কেলাসটি কোয়ার্জের অর্থাৎ পজিটিভ কেলাস হ'লে O-তরঙ্গ E-তরঙ্গের উপর দশায় অগ্রবর্তী হবে। সুতরাং কেলাস থেকে নির্গত হওয়ার সময়ে তাদের মধ্যে উৎপন্ন দশার ব্যবধান δ হ'লে, নির্গত কম্পন দুটির ক্ষেত্রে লেখা যায় :

$$y'_e = a \cos \theta \sin \omega t$$

$$y_o' = a \sin \theta \sin (\omega t + \delta)$$

এখন বিশ্লেষক নিকলের মৌলিক ছেদ SA′-এর সমান্তরাল। ঐ দুটি কম্পন যখন বিশ্লেষক নিকলের ভিতর দিয়ে যাবার চেষ্টা করবে তখন কেবল তাদের SA′-এর সমান্তরাল উপাংশ সঞ্চালিত হবে। অতএব বিশ্লেষক নিকল থেকে নির্গত কম্পন দুটিকে লেখা যায় :

$$y_e'' = a \cos \theta \cos (\theta - \alpha) \sin \omega t$$

$$y_o'' = \alpha \sin \theta \sin (\theta - \alpha) \sin (\omega t + \delta)$$

এই কম্পন দুটি এক সমতলে অবস্থিত, সুসংগত এবং সমান্তরাল হওয়ায় এদের মধ্যে বিলোপকারী ব্যতিচার হবে। এরা সমাপতিত হওয়ার ফলে উৎপন্ন লব্ধি কম্পন হবে :

$$Y = y_e'' + y_o''$$

$$= a\,[\cos\theta\cos(\theta-\alpha)\sin\omega t + \sin\theta\sin(\theta-\alpha)\sin(\omega t+\delta)]$$

$$= a\,[\cos\theta\cos(\theta-\alpha)\sin\omega t + \sin\theta\sin(\theta-\alpha)\sin\omega t\cos\delta + \sin\theta\sin(\theta-\alpha)\cos\omega t\sin\delta]$$

$$= a\,[\sin\omega t\{\cos\theta\cos(\theta-\alpha) + \sin\theta\sin(\theta-\alpha)\cos\delta\} + \cos\omega t\sin\theta\sin(\theta-\alpha)\sin\delta]$$

$= A\sin(\omega t+\phi)$, ধরা যাক ... ... (i)

যখন, $A\cos\phi = a\{\cos\theta\cos(\theta-\alpha) + \sin\theta\sin(\theta-\alpha)\cos\delta\}$

$A\sin\phi = a\sin\theta\sin(\theta-\alpha)\sin\delta$

অর্থাৎ,

$$A^2 = a^2\,[\cos^2\theta\cos^2(\theta-\alpha) + \sin^2\theta\sin^2(\theta-\alpha)\cos^2\delta + 2\sin\theta\cos\theta\sin(\theta-\alpha)\cos(\theta-\alpha)\cos\delta + \sin^2\theta\sin^2(\theta-\alpha)\sin^2\delta]$$

$$= a^2\,[\cos^2\theta\cos^2(\theta-\alpha) + \sin^2\theta\sin^2(\theta-\alpha)(\cos^2\delta+\sin^2\delta) + 2\sin\theta\cos\theta\sin(\theta-\alpha)\cos(\theta-\alpha)\left(1-2\sin^2\frac{\delta}{2}\right)]$$

$$\left[\because\ \cos\delta = 1-2\sin^2\frac{\delta}{2}\right]$$

$$= a^2\,[\cos^2\theta\cos^2(\theta-\alpha) + \sin^2\theta\sin^2(\theta-\alpha) + 2\sin\theta\cos\theta.\sin(\theta-\alpha)\cos(\theta-\alpha) - 2\sin\theta\cos\theta.\,2\sin(\theta-\alpha)\cos(\theta-\alpha)\sin^2\frac{\delta}{2}]$$

$$= a^2\,[\{\cos\theta\cos(\theta-\alpha) + \sin\theta\sin(\theta-\alpha)\}^2 - \sin 2\theta\sin 2(\theta-\alpha)\sin^2\frac{\delta}{2}]$$

$$= a^2 [\cos^2\{\theta - (\theta - \alpha)\} - \sin 2\theta \sin 2(\theta - \alpha) \sin^2 \frac{\delta}{2}]$$

$$= a^2 \left[\cos^2\alpha - \sin 2\theta \sin 2(\theta - \alpha) \sin^2 \frac{\delta}{2} \right]$$

অর্থাৎ, $A^2 = a^2 \left[\cos^2\alpha - \sin 2\theta \sin 2(\theta - \alpha) \sin^2 \frac{\delta}{2} \right]$ ... (ii)

এখানে A^2 হচ্ছে লব্ধি কম্পনের বিস্তারের বর্গ। কিন্তু কোনও সরল দোলগতি-বিশিষ্ট কম্পনের ক্ষেত্রে বিস্তারের বর্গ হচ্ছে ঐ কম্পনের দ্বারা উৎপন্ন তীব্রতার (intensity) সমানুপাতী। সুতরাং (ii)-চিহ্নিত সম্বন্ধের ডানপক্ষকে আমরা পর্যবেক্ষণ বিন্দু S-এর উপর আলোকের তীব্রতার মাত্রা হিসাবে ধরতে পারি। এখন এই (ii)-সম্বন্ধের বিশ্লেষণ করে CS ব্যাসার্ধ-বিশিষ্ট বৃত্তের উপর বিভিন্ন বিন্দুর তীব্রতা সম্বন্ধে অনুসন্ধান করা হবে।

বিশ্লেষণ ঃ সাদা আলোক নিলে তা হবে কতকগুলি রঙ-এর আলোকের সমষ্টি।

সুতরাং তীব্রতা J-কে ΣA^2-এর সঙ্গে সমান ধরে বলা যাবে,

$$J = \Sigma a^2 \left[\cos^2\alpha - \sin 2\theta \sin 2(\theta - \alpha) \sin^2 \frac{\delta}{2} \right] \quad \text{(iii)}$$

যখন সমষ্টি-চিহ্ন Σ সমস্ত রঙ-এর আলোকের উপর প্রযোজ্য। বন্ধনীর মধ্যে $\cos^2\alpha$ পদটি আলোকের রঙ-এর উপর নির্ভরশীল নয়। সমস্ত রঙ-এর আলোকের ক্ষেত্রেই $\cos^2\alpha$-র মান অপরিবর্তিত থাকবে। তাই একে **অবার্ণ পদ** (Achromatic term), অর্থাৎ বর্ণের সঙ্গে সম্পর্কহীন পদ বলে। কিন্তু দ্বিতীয় পদে দশার ব্যবধান δ থাকায় ঐ পদটি আলোকের রঙ বা তরঙ্গদৈর্ঘ্যের উপর নির্ভরশীল। অর্থাৎ বিভিন্ন বর্ণের আলোকের জন্য ঐ পদটির মান বিভিন্ন। এইজন্যে এই পদটিকে বলা হয় **বর্ণীয় পদ** (Chromatic or Colour term)।

এখন সমবর্তক ও বিশ্লেষকের মৌলিক ছেদ CP ও CA-র বিভিন্ন পারস্পরিক অবস্থানে এই পদ দুটির কি পরিবর্তন হবে তাই লক্ষ্য করা যাক।

পর্যবেক্ষণ বিন্দু S যখন CA অথবা CP-র উপরে (ক্রস্ বা ব্রাশের গঠন) ঃ

প্রথম ক্ষেত্র ঃ ধরা যাক, CA এবং CP পরস্পর লম্বও নয়, সমান্তরালও নয় ; অর্থাৎ α-র মান 90° অথবা 0 নয়।

(i) S বিন্দুটি CP-র উপরে বা CP-র লম্বরেখার উপরে অবস্থিত হ'লে, $\theta=0$ অথবা 90°, উভয়ক্ষেত্রেই $\sin 2\theta=0$, অর্থাৎ বর্ণীয় পদের মান শূন্য।

$$\therefore \quad J=\Sigma\alpha^2 \cos^2\alpha$$

অতএব এক্ষেত্রে একটি সাদা সমকোণী ক্রস্ (rectangular cross) পাওয়া যাবে।

(ii) আবার S বিন্দুটি CA-র উপর বা CA-র লম্বরেখার উপরে হলে, $(\theta-\alpha)=0$ অথবা 90° ; $\therefore \sin 2(\theta=\alpha)=0$, অর্থাৎ এক্ষেত্রেও বর্ণীয় পদের মান শূন্য।

অতএব আরও একটি সাদা সমকোণী ক্রস্ পাওয়া যাবে।

দ্বিতীয় ক্ষেত্র ঃ CA ও CP পরস্পর সমান্তরাল অর্থাৎ দুটি নিকলের সমান্তরাল অবস্থান।

এক্ষেত্রে $\alpha=0$, $\therefore \; J=\Sigma a^2\left(1-\sin^2 2\theta \sin^2\dfrac{\delta}{2}\right)$

এখন S বিন্দুটি CA (অথবা CP)-র উপরে থাকলে, $\theta=0$ এবং CA (অথবা CP)-এর লম্বের উপরে থাকলে, $\theta=90^\circ$। উভয়ক্ষেত্রেই $\sin 2\theta=0$; অর্থাৎ বর্ণীয় পদের মান শূন্য।

$\therefore J=a^2$; এক্ষেত্রে একটি মাত্র সাদা ক্রস্ পাওয়া যাচ্ছে [চিত্র ১২৩ (ক) দ্রষ্টব্য]।

তৃতীয় ক্ষেত্র ঃ CA ও CP পরস্পর লম্ব, অর্থাৎ নিকল দুটির বিষম অবস্থান।

এক্ষেত্রে $\alpha=90^\circ$; $\therefore \cos\alpha=0$

$$\therefore \quad J=\Sigma a^2 \sin^2 2\theta \sin^2\frac{\delta}{2}$$

এখন যদি পর্যবেক্ষণ বিন্দুটি CP-র উপরে হয়, তাহ'লে $\theta=0$;

$$\therefore \quad J=0$$

আবার যদি পর্যবেক্ষণ বিন্দুটি CA-র উপরে হয়, সেক্ষেত্রে $\theta = 90^\circ$;
$\therefore \quad J = 0$

সুতরাং CA ও CP-র উপরে অবস্থিত প্রত্যেক বিন্দু অন্ধকার হওয়ায় একটি অন্ধকার সমকোণী ক্রস্ গঠিত হবে, যার অক্ষ দুটি হবে CA এবং CP বরাবর [চিত্র ১২৩ (খ) দ্রষ্টব্য]।

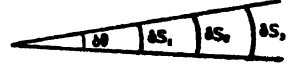
পূর্বের আলোচনায় উল্লেখিত ক্রস্-এর রেখাগুলিকে **অবার্ণ বা নিরপেক্ষ রেখা** (Achromatic or Neutral lines) বলে।

পর্যবেক্ষণ বিন্দু S যখন CA বা CP-র উপরে নয় (রিং-এর গঠন)

আমরা দেখেছি কোনও একটি বৃত্তের উপরে সর্বত্র দশার ব্যবধান δ-র মান সমান। সুতরাং C কেন্দ্রবিশিষ্ট কোনও বৃত্তের উপর কিন্তু CA বা CP-র উপরে বা তাদের লম্বের উপরে নয় এমনভাবে S বিন্দুটি অবস্থিত হ'লে, ঐ বিন্দুটিতে কোনও রঙ-এর প্রাধান্য দেখা যাবে। কোনও বিশেষ রঙ-এর ক্ষেত্রে দশার ব্যবধান δ-র মানের উপর $\sin^2 \frac{\delta}{2}$-এর মান চরম, অর্থাৎ 1 অথবা অবম অর্থাৎ শূন্য হবে। পূর্ণবর্গ হওয়ায়, $\sin^2 \frac{\delta}{2}$-এর মান কখনও ঋণাত্মক হবে না। ঐ রঙটির জন্য $\sin^2 \frac{\delta}{2}$-এর মান 1 হ'লে, বর্ণীয় পদে ঐ রঙটির প্রাধান্য হবে। কিন্তু $\sin^2 \frac{\delta}{2}$-এর মান ঐ রঙের ক্ষেত্রে শূন্য হ'লে, বর্ণীয় পদে ঐ রঙটির প্রভাব থাকবে না, অর্থাৎ তার পরিপূরক রঙটির প্রাধান্য হবে। যে কোনও বিন্দুতে বর্ণীয় ও অবার্ণ পদ দুটির সমন্বয়ে উৎপন্ন রঙটি দেখতে পাওয়া যাবে। যে কোনও একটি বৃত্তের উপর একই রকমের রঙের রিং এইভাবে গঠিত হবে। বর্ণীয় পদে θ এবং α থাকায় একই বৃত্তের উপরও বিভিন্ন বিন্দুতে ঐ পদটির প্রভাব সমান হবে না। তার ফলে রঙ-এর তীব্রতা যে কোনও বৃত্তের উপর পরিবর্তিত হবে। এইভাবে বিভিন্ন ব্যাসার্ধের সমকেন্দ্রিক রঙীন রিং গঠিত হবে। রিং-গুলি আবার পূর্বে আলোচিত ক্রসের দ্বারা টুকরো টুকরো অংশে (চাপে) বিভক্ত হবে। এইগুলিকে **সমবর্ণীয় চাপ** (Isochromatic arcs) বলে।

চিত্র ১২৩

ক্রস্ ও রিং-এর গঠন : (ক) সাদা ক্রস্ ও রঙীন রিং ; (খ) কালো ক্রস্ ও রঙীন রিং ; (গ) ও (ঘ) দ্বি-অক্ষীয় কেলাসের ক্ষেত্রে উৎপন্ন নকশা।

সামগ্রিক চিত্র ঃ একটি ক্রস্ ও রিং-সমষ্টির সমন্বয় কেমন দেখায় ১২৩-তম চিত্র থেকে তা বুঝতে পারা যাবে। দেখা যাচ্ছে ক্রস্গুলির বাহু কেন্দ্রের কাছে সরু কিন্তু যত পরিধির দিকে যাচ্ছে তত মোটা হচ্ছে। ক্রস্-এর বাহুগুলি নিখুঁত সরলরেখা হয় না, কারণ উজ্জ্বল বা অন্ধকার যে কোনও প্রকার বিন্দুর সমন্বয়ে ক্রস্টি গঠিত হোক না কেন, ঐ বিন্দুটির উজ্জ্বলতা বা অন্ধকারের গাঢ়তা ধীরে ধীরে কোণ θ-র সঙ্গে পরিবর্তিত হয়। একটি ছোট কোণ $\delta\theta$-র বাহুগুলির যতখানি ব্যবধান, ক্রস্-এর বাহু-দুটি ততখানি চওড়া হবে। কিন্তু কেন্দ্র থেকে যতদূর যাওয়া যায় তত বৃহত্তর দৈর্ঘ্যের চাপ δS_1, δS_2 প্রভৃতি কেন্দ্রে একই কোণ $\delta\theta$ উৎপন্ন করে। সুতরাং বোঝা যাচ্ছে, ক্রস্গুলির বাহু কেন কেন্দ্র থেকে পরিধির দিকে ক্রমশ মোটা হয়ে যায়।

চিত্র ১২৪

অসমবর্ণীয় রিং ঃ সমীকরণ (iii)-এ, ধরা যাক, α-র মান শূন্য বা 90° নয়। এখন যে কোনও একটি রিং-এর উপরে চারটি বিন্দু পাওয়া যাবে যাদের ক্ষেত্রে যথাক্রমে $\theta=0$, $\theta=90^\circ$, $(\theta-\alpha)=0$ এবং $(\theta-\alpha)=90^\circ$। এদের প্রত্যেক ক্ষেত্রেই বর্ণীয় পদ শূন্য। কিন্তু $0<\theta<90^\circ$ হ'লে, $\sin 2\theta=+ve$; আবার $90^\circ<\theta<180^\circ$ সীমানার মধ্যে $\sin 2\theta=-ve$ হবে। $(\theta-\alpha)$-র ক্ষেত্রেও অনুরূপ যুক্তি প্রযোজ্য। এর বাস্তব তাৎপর্য হ'ল, যখন কোনও রিং-কে অনুসরণ করে কোনও 'নিরপেক্ষ রেখা' অর্থাৎ ক্রসের বাহু অতিক্রম করা হবে তখন বর্ণীয় পদের চিহ্ন পজিটিভ থেকে নেগেটিভ বা নেগেটিভ থেকে পজিটিভে পরিবর্তিত হবে। অর্থাৎ বর্ণীয় পদটির একবার যোগ ও একবার বিয়োগ হচ্ছে। সুতরাং এইরকম ক্ষেত্রে (অর্থাৎ α যখন 0 বা 90° নয়, তখন) কোনও ক্রসের বাহুর উভয় পার্শ্বে কোনও রিং-এর রঙ-দুটি ঠিক পরস্পরের সম্পূরক (complementary) রঙ হবে। অর্থাৎ এক্ষেত্রে কোনও রিং সর্বত্র সমবর্ণীয় হবে না।

সমবর্ণীয় রিং ঃ কিন্তু যদি $\alpha=0$ বা 90° হয়, অর্থাৎ সমবর্তক ও বিশ্লেষক পরস্পর সমান্তরাল অথবা লম্ব হয়, তাহ'লে পাওয়া যাবে ঃ

$$J=\Sigma a^2\left(1-\sin^2 2\theta \sin^2\frac{\delta}{2}\right), \quad \text{যখন } \alpha=0$$

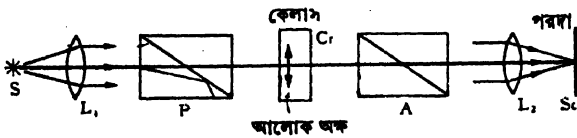
কিন্তু $J = \Sigma a^2 \sin^2 2\theta \sin^2 \frac{\delta}{2}$, যখন $\alpha = 90^\circ$

এক্ষেত্রে $\sin^2 2\theta$ সর্বদাই পজিটিভ, অতএব কোনও বৃত্তীয় পটির (circular fringe) রঙ সর্বত্র এক।

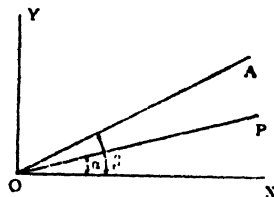
৭.৩ কেলাসের চিহ্ন পরীক্ষা (Sign-testing of crystals) :

কোনও দ্বৈত-প্রতিসারক কেলাস পজিটিভ অথবা নেগেটিভ, অভিসারী সমবর্তিত আলোকের দ্বারা উৎপন্ন রিং-এর সাহায্যে তার পরীক্ষা করা যায়। এই পরীক্ষায় রিং-উৎপাদক একটি কেলাসের চিহ্ন জানা প্রয়োজন। পরীক্ষণীয় দ্বিতীয় কেলাসটির আলোক-অক্ষ তার বিপরীত সমান্তরাল তল দুটির সঙ্গে লম্ব হওয়ারও প্রয়োজন। দ্বিতীয় কেলাসটি প্রথমটির পরে সমান্তরালভাবে যোজনা করলে রিংগুলির ব্যাসার্ধ সংকুচিত বা প্রসারিত হতে পারে। যদি ব্যাসার্ধ সংকুচিত হয় তাহ'লে দ্বিতীয় কেলাসটি প্রথমটির সমজাতীয় হবে। কিন্তু যদি রিংগুলি প্রসারিত হয়, তখন দ্বিতীয় কেলাসটি হবে প্রথমটির বিপরীত-জাতীয়। কারণ সমজাতীয় দুটি কেলাস পাশাপাশি থাকলে, কার্যকর পথের ব্যবধান $e(\mu_o \sim \mu_e)$-এর মান রশ্মিগুলির আনতি কোণের সঙ্গে দ্রুততর হারে পরিবর্তিত হবে। কিন্তু দুটি কেলাস বিপরীত চিহ্নবিশিষ্ট হ'লে, ঐ পথ-ব্যবধানের মান আনতি কোণের সঙ্গে তত দ্রুতহারে পরিবর্তিত হবে না। অর্থাৎ একই রিং এক্ষেত্রে কেন্দ্র থেকে দূরে সরে যাবে।

৭.৪ সমান্তরাল সমতল-সমবর্তিত রশ্মিগুচ্ছের ব্যতিচার (Interference of a parallel beam of plane polarised light) :

সমতল-সমবর্তিত আলোকের একটি সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ যদি কোনও দ্বৈত-প্রতিসারক কেলাসের উপর লম্বভাবে আপতিত হয় এবং কেলাসের

চিত্র ১২৫

আলোক-অক্ষও তলের সঙ্গে লম্বভাবে অবস্থিত হয় তাহ'লে রশ্মিগুচ্ছ কেলাসের ভিতরেও অক্ষের সমান্তরাল হবে। এক্ষেত্রে দ্বৈত-প্রতিসারক

কেলাসের কোনও ক্রিয়াই হবে না। সেইজন্য এই পরীক্ষায় তলের সঙ্গে সমান্তরাল আলোক-অক্ষ-বিশিষ্ট কেলাস নেওয়া হয়। প্রয়োজনীয় সরঞ্জাম ও তাদের বিন্যাস ১২৫-তম চিত্র থেকে বুঝতে পারা যাবে। একটি উজ্জ্বল উৎস S থেকে নির্গত আলোক L_1 লেন্স দ্বারা সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছে পরিণত হয়।

চিত্র ১২৬

তারপর সমবর্তক নিকল P দ্বারা সমবর্তিত হওয়ার পর ঐ রশ্মিগুচ্ছ দ্বৈত-প্রতিসারক কেলাস Cr-এর উপর পড়ে। Cr-এর আলোক-অক্ষ তলের সঙ্গে সমান্তরাল। কেলাসের দ্বারা এই আলোক সাধারণ ও ব্যতিক্রান্ত তরঙ্গে বিশ্লিষ্ট হয়ে নির্গত হওয়ার সময়ে তাদের মধ্যে দশার ব্যবধান উৎপন্ন হবে। আবার বিশ্লেষক নিকল A-র ভিতরে প্রবেশ করলে, A-র মৌলিক ছেদ বরাবর ঐ দুটি কম্পনের যে বিশ্লেষিতাংশ তারাই নির্গত হবে। A থেকে নির্গত আলোক হবে এই দুটি কম্পনের লব্ধি। ঐ আলোক L_2 লেন্স দ্বারা অভিসারী কিরণে পরিণত হয়ে Sc পর্দার উপর নানাবিধ ব্যতিচারী ঝালর উৎপাদন করবে।

১২৬-তম চিত্রের সাহায্যে এই পরীক্ষার ক্রিয়াকে ব্যাখ্যা করা হয়েছে। এখানে ধরা হয়েছে, সমবর্তক P এবং বিশ্লেষক A-র মৌলিক ছেদ যথাক্রমে OP এবং OA। তারা কেলাস Cr-এর আলোক-অক্ষ OX-এর সঙ্গে যথাক্রমে α এবং β কোণে আনত আছে। এখন P থেকে নির্গত OP-র সঙ্গে সমান্তরাল কম্পন কেলাসে প্রবেশের সঙ্গে সঙ্গে যে দুটি কম্পনে বিশ্লিষ্ট হবে, তাদের বলা যায়:

$$y_e = a \cos\alpha \sin\omega t$$
$$y_o = a \sin\alpha \sin\omega t$$

যখন $y = a \sin\omega t$ হচ্ছে P থেকে নির্গত কম্পনের সমীকরণ।

কেলাসের ভিতরে উভয় কম্পনের মধ্যে উৎপন্ন দশার ব্যবধান δ হ'লে কেলাস থেকে নির্গত দুটি কম্পনকে লেখা যায়:

$$y_e' = a \cos \alpha \sin \omega t$$

$$y_o' = a \sin \alpha (\sin \omega t + \delta)$$

যদি অবশ্য কেলাসটিকে কোয়ার্জ-জাতীয় কোনও পজিটিভ কেলাস ধরা যায়, যার মধ্যে অক্ষের সঙ্গে লম্ব অর্থাৎ O-কম্পন দ্রুততর বেগে অগ্রসর হবে।

এই দুটি কম্পন আবার যখন বিশ্লেষক A-র ভিতর দিয়ে যাবে তখন A-র সঞ্চালন তল বরাবর তাদের বিশ্লেষিতাংশ হবে:

$$y_e'' = a \cos \alpha \cos \beta \sin \omega t$$

$$y_o'' = a \sin \alpha \sin \beta \sin (\omega t + \delta)$$

অতএব তাদের উপস্থাপনের দ্বারা উৎপন্ন এবং A থেকে নির্গত লব্ধি কম্পন হবে:

$$\begin{aligned} Y = y_e'' + y_o'' = a\, [\sin \omega t\, (\cos \alpha \cos \beta \\ + \sin \alpha \sin \beta \cos \delta) \\ + \cos \omega t \sin \alpha \sin \beta \sin \delta] \\ = A \sin (\omega t + \phi), \text{ ধরা যাক,} \end{aligned}$$

যখন $A \cos \phi = a(\cos \alpha \cos \beta + \sin \alpha \sin \beta \cos \delta)$

এবং $A \sin \phi = a \sin \alpha \sin \beta \sin \delta$

এদের বর্গ ও যোগ করে পাওয়া যাবে:

$$\begin{aligned} A^2 &= a^2[\cos^2\alpha \cos^2\beta + \sin^2\alpha \sin^2\beta(\cos^2\delta + \sin^2\delta) \\ &\qquad + 2 \sin \alpha \cos \alpha \sin \beta \cos \beta \cos \delta] \\ &= a^2\left[\cos^2\alpha \cos^2\beta + \sin^2\alpha \sin^2\beta \right. \\ &\qquad \left. + 2 \sin \alpha \cos \alpha \sin \beta \cos \beta \left(1 - 2 \sin^2 \frac{\delta}{2}\right)\right] \\ &= a^2 \left[(\cos \alpha \cos \beta + \sin \alpha \sin \beta)^2 \right. \\ &\qquad \left. - \sin 2\alpha \sin 2\beta \sin^2 \frac{\delta}{2}\right] \\ &= a^2 \left[\cos^2(\beta - \alpha) - \sin 2\alpha \sin 2\beta \sin^2 \frac{\delta}{2}\right] \end{aligned}$$

এই সমীকরণ থেকে পরদার উপর বিভিন্ন বিন্দুর আলোকের তীব্রতা পাওয়া যাবে। তীব্রতা J-কে A^2-এর সমান ধরলে,

$$J = a^2\left[\cos^2(\beta-\alpha) - \sin 2\alpha \sin 2\beta \sin^2\frac{\delta}{2}\right] \quad \cdots \quad \text{(i)}$$

এখন এই সমীকরণটির আলোচনা করা যাক।

প্রথম ক্ষেত্র : একবর্ণীয় আলোক ব্যবহৃত হ'লে,

যখন $\delta = 2m\pi$, (m = শূন্য অথবা যে কোনও অখণ্ড সংখ্যা), তখন

$$\sin^2\frac{\delta}{2} = 0\,;$$

$\therefore$ তীব্রতা $J = a^2\cos^2(\beta-\alpha)$

(ক) এখন নিকল দুটি বিষম অবস্থানে অবস্থিত হ'লে, $\beta-\alpha = 90°$

$\therefore$ $J = a^2\cos^2 90° = 0$, সুতরাং পর্দার উপর **সর্বত্র অন্ধকার** হবে।

(খ) নিকল দুটি সমান্তরাল হ'লে, $\beta-\alpha = 0$

$\therefore$ $J = a^2$, সুতরাং পরদাটি **উজ্জ্বলভাবে আলোকিত** হবে।

দ্বিতীয় ক্ষেত্র : সাদা আলোক ব্যবহৃত হ'লে, তীব্রতাকে লেখা যায়,

$$J = \Sigma a^2\left[\cos^2(\beta-\alpha) - \sin 2\alpha \sin 2\beta \sin^2\frac{\delta}{2}\right]$$

যখন সমষ্টি চিহ্ন Σ সমস্ত রঙ-এর উপর প্রযোজ্য।

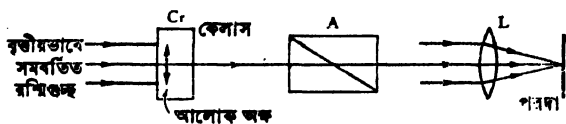
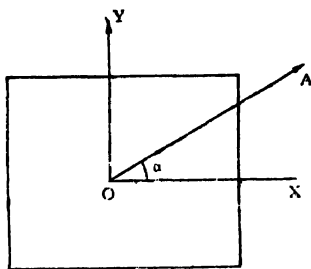
সমীকরণে বর্গবন্ধনীর ভিতরে প্রথম পদ $\cos^2(\beta-\alpha)$-কে অবার্ণ পদ এবং দ্বিতীয় পদ $\sin 2\alpha \sin 2\beta \sin^2\frac{\delta}{2}$-কে বর্ণীয় পদ বলা যায়।

যে তরঙ্গদৈর্ঘ্যের জন্য $\delta = 2m\pi$ হবে, (যখন m = শূন্য অথবা যে কোনও পূর্ণসংখ্যা), সেই তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোক অনুপস্থিত হবে এবং তার সম্পূরক রঙ প্রবল হবে। অধিকন্তু $\beta-\alpha = 90°$ অর্থাৎ P ও A বিষম অবস্থানে থাকলে, $\cos^2(\beta-\alpha) = 0$, অর্থাৎ অবার্ণ পদটি বিলুপ্ত হবে। তার ফলে রঙ-এর প্রাবল্য খুব বেশী মনে হবে। কিন্তু $\beta-\alpha = 0$ হ'লে, অবার্ণ পদ $\cos^2(\beta-\alpha)$-এর মান চরম হবে এবং রঙ-এর প্রাবল্য কম অনুভূত হবে।

$(\alpha-\beta)$-কে স্থির রেখে কেলাসটি ঘুরিয়ে যদি α ও β-র মান পরিবর্তন করা যায়, তাহ'লে উল্লেখযোগ্য পরিবর্তন লক্ষ্য করা যাবে। $\alpha = 0$ অথবা

90° এবং $\beta=0$ অথবা 90° হ'লে, বর্ণীয় পদটি প্রত্যেক ক্ষেত্রে বিলুপ্ত হবে এবং পর্দা সাদা আলোকে আলোকিত হবে।

৭.৫ বৃত্তীয়ভাবে সমবর্তিত আলোকের দ্বৈত-প্রতিসারক কেলাস দ্বারা ব্যতিচার:

ধরা যাক, বৃত্তীয়ভাবে সমবর্তিত একটি সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ কোনও দ্বৈত-প্রতিসারক কেলাসের উপর লম্বভাবে আপতিত হ'ল।

চিত্র ১২৭

চিত্র ১২৮

কেলাস Cr-এর আলোক-অক্ষ কেলাসের তলের সমান্তরাল অর্থাৎ রশ্মিগুচ্ছের সঙ্গে লম্ব। বৃত্তীয় কম্পন কেলাসের ভিতরে আলোক-অক্ষ OX এবং তার সঙ্গে লম্ব অক্ষ OY বরাবর বিশ্লেষিত হবে (১২৮-তম চিত্র)। কেলাসে প্রবেশ করা মাত্র তাদের সমীকরণ হবে :

$$y_e = a \cos \omega t$$

$$y_o = a \sin \omega t$$

কেলাসের ভিতর সাধারণ কম্পন দ্রুততর বেগবিশিষ্ট হ'লে এবং দুই কম্পনের মধ্যে কেলাস দ্বারা উৎপন্ন দশার ব্যবধান δ হ'লে, কেলাস থেকে নির্গত কম্পনদ্বয় হবে :

$$y_e' = a \cos \omega t$$

$$y_o' = a \sin (\omega t + \delta)$$

বিশ্লেষকের মূল তলে এদের বিশ্লেষিতাংশ হবে ঃ

$$y_e'' = a \cos \alpha \cos \omega t$$

$$y_o'' = a \sin \alpha \sin (\omega t + \delta)$$

অতএব বিশ্লেষক থেকে নির্গত লব্ধি কম্পনের সমীকরণ হবে ঃ

$$Y = y_e'' + y_o'' = a [\sin \omega t \sin \alpha \cos \delta + \cos \omega t (\sin \alpha \sin \delta + \cos \alpha)]$$

$$= A \sin (\omega t + \phi), \text{ ধরা যাক}$$

যখন $A \cos \phi = a \sin \alpha \cos \delta$

এবং $A \sin \phi = a (\cos \alpha + \sin \alpha \sin \delta)$

$$\therefore \quad A^2 = a^2 [\sin^2\alpha \cos^2\delta + \cos^2\alpha + \sin^2\alpha \sin^2\delta + 2 \cos \alpha \sin \alpha \sin \delta]$$

$$= a^2 [\sin^2\alpha + \cos^2\alpha + \sin 2\alpha \sin \delta]$$

$$= a^2 [1 + \sin 2\alpha \sin \delta]$$

অতএব J-কে তীব্রতার সমানুপাতী ধরলে,

$$J = a^2 [1 + \sin 2\alpha \sin \delta]$$

সাদা আলোকের ক্ষেত্রে, $J = \Sigma a^2 (1 + \sin 2\alpha \sin \delta)$

যখন সমষ্টি চিহ্ন Σ সমস্ত রঙ-এর উপরে প্রযোজ্য।

এখানে দ্বিতীয় পদ $\sin 2\alpha \sin \delta$-র মধ্যে δ আলোকের তরঙ্গদৈর্ঘ্যের উপর নির্ভরশীল হওয়ায়, তাকে বর্ণীয় পদ বলা যায়।

$\alpha = 45^\circ$ হ'লে, বর্ণীয় পদের মান সর্বোচ্চ, সুতরাং রঙ-এর প্রাধান্যও সর্বোচ্চ হবে। কিন্তু $\alpha = 0$ অথবা 90° হ'লে, বর্ণীয় পদটি বিলুপ্ত হবে।

সারাংশ

সমবর্তিত আলোকের বিলোপকারী ব্যতিচার উৎপাদন করতে হ'লে ব্যতিচারী কম্পন দুটি সুসংগত এবং সমান্তরাল হওয়ার প্রয়োজন। একটি সমতল-সমবর্তিত আলোককে কোনও দ্বৈত-প্রতিসারক কেলাস দ্বারা দুটি পরস্পর লম্ব কম্পনে বিশ্লেষিত করার পর তাদের পুনরায় সমান্তরাল কম্পনে রূপান্তরিত করলে এইজাতীয় ব্যতিচার পাওয়া সম্ভব।

আলোক-অক্ষের সঙ্গে লম্ব তল-বিশিষ্ট কোনও দ্বৈত-প্রতিসারক কেলাসের উপর একটি অভিসারী সমবর্তিত আলোক পড়লে, বিভিন্ন কোণে আনত একই পরিধির উপর অবস্থিত রশ্মিগুলির ক্ষেত্রে ঐ কেলাস দ্বারা সমান দশার ব্যবধান উৎপন্ন হবে। একটি বিশ্লেষক নিকল দ্বারা তাদের আবার এক সমতলে নিয়ে এলে, ঐ বৃত্তের উপর যে কোনও বিন্দুতে সমান দশার ব্যবধান-বিশিষ্ট দুটি কম্পনের মিলন হবে। তার ফলে এক একটি বৃত্তের উপর এক এক রঙ-এর প্রাধান্য হবে। এইভাবে বিভিন্ন রঙ-এর সমকেন্দ্রিক রিং উৎপন্ন হয়। আবার সমবর্তক ও বিশ্লেষক নিকল দুটির পারস্পরিক অবস্থানের উপর নির্ভর ক'রে ঐ রিং-গুলি সাদা অথবা কালো ক্রস্ (ব্রাশ) দ্বারা ছেদিত হবে।

দুটি কেলাস পাশাপাশি বসালে, যদি রিংগুলির ব্যাসার্ধ সংকুচিত হয়, তাহ'লে তারা সমজাতীয় (অর্থাৎ উভয়েই পজিটিভ অথবা নেগেটিভ) কেলাস, কিন্তু ব্যাসার্ধ প্রসারিত হ'লে, তারা বিপরীত শ্রেণীর কেলাস।

সমতল-সমবর্তিত সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছ অথবা বৃত্তীয়ভাবে সমবর্তিত আলোককে দ্বৈত-প্রতিসারক কেলাসের মধ্যে চালিত ক'রে বিশ্লেষক নিকল দ্বারা চালিত কম্পনগুলির উপাংশ কম্পনকে পরীক্ষা করা যায়। এক্ষেত্রে রিং ও ব্রাশ উৎপন্ন হবে না। ক্ষেত্র-বিশেষে পর্দার উপর সম্পূর্ণ অন্ধকার, সাধারণ সাদা আলোকন অথবা বিশেষ রঙের আলোকন লক্ষিত হবে।

অনুশীলনী

১। সমবর্তিত আলোকের বিলোপকারী ব্যতিচার উৎপাদন করতে হ'লে কি কি শর্ত পূরণ হওয়ার প্রয়োজন ? শর্তগুলির প্রয়োজনীয়তা আলোচনা কর।

২। সমতল-সমবর্তিত আলোকের ব্যতিচার উৎপাদনের উপযুক্ত একটি পরীক্ষা বর্ণনা কর। কি ধরনের ব্যতিচারী ঝালর উৎপন্ন হবে, তার বর্ণনা দাও এবং কারণসমূহ ব্যাখ্যা কর।

৩। রিং ও ব্রাশ উৎপাদনের তত্ত্বটি আলোচনা কর। রিং ও ব্রাশ প্রদর্শনের উপযোগী একটি পরীক্ষার বর্ণনা দাও। এই পরীক্ষার সাহায্যে কি উপায়ে কোনও কেলাসের চিহ্ন নির্ণয় করা যায় ?

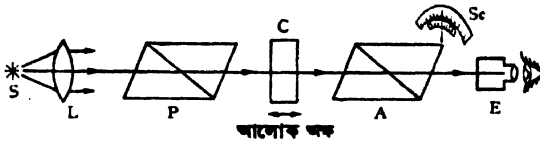
৪। সমতল-সমবর্তিত সমান্তরাল রশ্মিগুচ্ছের ব্যতিচার উৎপাদনের একটি পরীক্ষা বর্ণনা কর এবং পর্যবেক্ষণের তত্ত্বীয় ব্যাখ্যা দাও।

৫। বৃত্তীয় সমবর্তিত আলোকের ব্যতিচার কি উপায়ে উৎপাদন করা যায় ? ব্যতিচারী নকশার প্রকৃতি কি-রকম হয় ? তত্ত্বগতভাবে পর্যবেক্ষণের ব্যাখ্যা দাও।

অষ্টম অধ্যায়

আলোক-সক্রিয়তা বা ঘূর্ণ-সমবর্তন

৮·১ কম্পন তলের ঘূর্ণন:

এই অধ্যায়ের সূচনাতেই একটি পরীক্ষার বর্ণনা করা যাক। বিষম অবস্থানে স্থিত দুটি নিকলকে কোনও একবর্ণীয় আলোক-উৎসের পরে রাখলে

চিত্র ১২৯

দৃষ্টিক্ষেত্র অন্ধকার দেখা যাবে। চিত্রে S একটি একবর্ণীয় উৎস, L রশ্মিগুচ্ছকে সমান্তরালকারী লেন্স, P এবং A যথাক্রমে সমবর্তক ও বিশ্লেষক নিকল, E একটি অভিনেত্র (Eye-piece)। P এবং A-র মাঝখানে অবস্থিত C হচ্ছে—আন্দাজ ২-৩ মিলিমিটার পুরু কোয়ার্জ কেলাস, যার আলোক-অক্ষ দুটি বিপরীত তলের সঙ্গে লম্বভাবে অবস্থিত। প্রথমে কোয়ার্জ কেলাসটিকে অপসারিত ক'রে নিকল দুটিকে পরস্পর বিষম অবস্থানে আনতে হবে। এখন দৃষ্টিক্ষেত্র অন্ধকার হবে। কিন্তু কোয়ার্জ কেলাসটিকে আবার পূর্বের স্থানে বসালেই দৃষ্টিক্ষেত্র আলোকিত হয়ে উঠবে। এই পরীক্ষা থেকে এইরকম সিদ্ধান্ত করা যায় যে, কেলাস C-এর দ্বারা সমবর্তিত আলোকের কম্পন তল নিশ্চয়ই ঘুরে যায়। তার ফলে সমবর্তিত আলোকের কম্পন তল আর বিশ্লেষকের মূল তলের সঙ্গে সমকোণে অবস্থিত থাকে না। সেইজন্যে বিশ্লেষক দ্বারা কিছু আলোক সঞ্চালিত হয়। কিন্তু বিশ্লেষক নিকল A-কে এখন প্রয়োজনমতো ঘোরালে আবার দৃষ্টিক্ষেত্র অন্ধকার হবে। যে দিকে এবং যত ডিগ্রী এই ঘূর্ণন হয়, বিশ্লেষক A-কে সেই দিকে এবং তত ডিগ্রী ঘোরালে আবার বিশ্লেষকের সঞ্চালন তল তার উপর আপতিত সমবর্তিত আলোকের সঞ্চালন তলের সঙ্গে সমকোণে অবস্থিত হয়। সুতরাং দৃষ্টিক্ষেত্র আবার অন্ধকার হয়। নিকল A-এর ঘূর্ণনের পরিমাণ, তার সঙ্গে সংলগ্ন

ভার্নিয়ার ও স্কেলের সাহায্যে মাপা যায়। এখানে মনে রাখতে হবে, আলোক-রশ্মি কোয়ার্জ পাতের মধ্যে আলোক-অক্ষের সমান্তরাল পথে যাচ্ছে। সুতরাং দ্বৈত-প্রতিসরণ হচ্ছে না। শুধু কোয়ার্জ নয়, নিকল দুটির মাঝখানে কাচের নলে ইক্ষুচিনির দ্রবণ, টারপেণ্টাইন অয়েল, টার্টারিক অ্যাসিড প্রভৃতি দ্রবণ বা তরল রাখলেও, তাদের দ্বারা সমবর্তিত আলোকের কম্পন তলের এই ঘূর্ণন লক্ষ্য করা যাবে। এইরকম **সমবর্তিত আলোকের কম্পন তলের ঘূর্ণনকে আলোক-সক্রিয়তা** (Optical activity) **বলে** এবং কোয়ার্জ, টার্টারিক অ্যাসিড, ইক্ষুচিনির দ্রবণ প্রভৃতি **যে-সমস্ত পদার্থ সমতল-সমবর্তিত** আলোকের কম্পন তলকে আবর্তিত করে, তাদের **আলোক-সক্রিয়** (Optically active) **পদার্থ** বলে।

নানারকমের আলোক-সক্রিয় পদার্থ নিয়ে পরীক্ষা করলে, দেখা যাবে, তাদের মোটের উপর দুই শ্রেণীতে ভাগ করা যায়। একশ্রেণীর পদার্থ কম্পন তলকে ডান দিকে অর্থাৎ দর্শকের কাছে ঘড়ির কাঁটা যে-দিকে ঘোরে সেই দিকে আবর্তিত করে। আর এক শ্রেণীর পদার্থ কম্পন তলকে ঘোরায় তার বিপরীত দিকে অর্থাৎ বাম দিকে। অবশ্য দর্শক কোন্ দিক থেকে তাকাবে তা নির্দিষ্ট করে না দিলে, এই ডান বা বাম দিক বলার কোনও অর্থ হয় না। নিয়ম হচ্ছে, দর্শক সর্বদা আলোক-রশ্মির দিকে মুখোমুখী তাকাবেন। এই অবস্থায় ঘড়ির কাঁটার দিকের ঘূর্ণনকে **দক্ষিণাবর্তী ঘূর্ণন** (Dextro-rotation) এবং তার বিপরীত ঘূর্ণনকে **বামাবর্তী ঘূর্ণন** (Laevo-rotation) বলে। সুতরাং,

রশ্মির দিকে মুখোমুখী তাকিয়ে, কোনও আলোক-সক্রিয় পদার্থ দ্বারা সমতল-সমবর্তিত আলোকের কম্পন তল ঘড়ির কাঁটার দিকে ঘুরে যাচ্ছে দেখা গেলে, সেই ঘূর্ণনকে **দক্ষিণাবর্তী ঘূর্ণন** এবং আলোচ্য পদার্থকে **দক্ষিণাবর্তী ঘূর্ণক** (Dextro-rotatory) পদার্থ বলে।

অপরপক্ষে, রশ্মির দিকে মুখোমুখী তাকিয়ে, কোনও আলোক-সক্রিয় পদার্থ দ্বারা সমতল-সমবর্তিত আলোকের কম্পন তল ঘড়ির কাঁটার বিপরীত দিকে ঘুরে যাচ্ছে দেখা গেলে, সেই ঘূর্ণনকে **বামাবর্তী ঘূর্ণন** (Laevo-rotation) এবং আলোচ্য পদার্থকে **বামাবর্তী ঘূর্ণক** (Laevo-rotatory) বলে।

৮.২ আলোক-সক্রিয়তা আবিষ্কারের ক্রমবিকাশ:

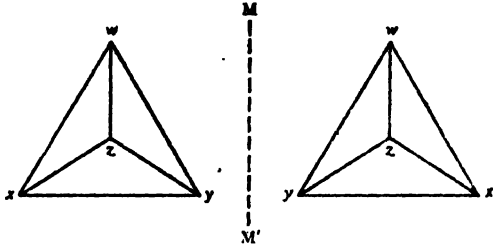
1811 খৃষ্টাব্দে আরাগো (Arago) প্রথম কোয়ার্জ কেলাসে আলোক-সক্রিয়তা আবিষ্কার করেন। তার কয়েক বছর পরে 1815 খৃষ্টাব্দে বায়ট

(Biot) এবং সীবেক (Seebeck) নানারকম জৈব যৌগে (organic compounds) এই বৈশিষ্ট্য লক্ষ্য করেন। তাঁরা ইক্ষুচিনির দ্রবণ, রশেলি লবণ (Rochelle salt) অর্থাৎ সোডিয়াম-পটাশিয়াম টারট্রেট-এর দ্রবণ, টারটারিক অ্যাসিড, টারপেণ্টাইন অয়েল প্রভৃতি পদার্থে আলোক-সক্রিয়তা ধর্ম প্রত্যক্ষ করেন।

1848 খৃষ্টাব্দে বিজ্ঞানী লুই পাস্তুর (Pasteur) আলোক-সক্রিয়তা সম্বন্ধে একটি উল্লেখযোগ্য আবিষ্কার করেন। তিনি দেখান, একই আলোক-সক্রিয় পদার্থ দুটি পরস্পর বিপরীত ঘূর্ণন ধর্মবিশিষ্ট দুটি বিভিন্ন প্রকারভেদে অবস্থান করে। আবার ঐ পদার্থটির নিষ্ক্রিয় একটি প্রকারভেদও পাওয়া যায়। যেমন টারটারিক অ্যাসিড দক্ষিণাবর্তী ও বামাবর্তী (dextro and laevo tartaric acid) দু-রকম ধরনের পাওয়া যায়। প্রত্যেক আলোক-সক্রিয় জৈব যৌগের এইরকম দুটি প্রকারভেদ পাওয়া যায়। কেলাসিত কঠিন আলোক-সক্রিয় পদার্থেরও দুটি বিপরীত ঘূর্ণনধর্মী প্রকারভেদ থাকে। যেমন, দক্ষিণাবর্তী ও বামাবর্তী কোয়ার্জ।

আলোক-সক্রিয়তার কারণ সম্বন্ধে পাস্তুর অনুমান করেন, তরল ও দ্রবণের ক্ষেত্রে আলোক-সক্রিয় পদার্থের আণবিক গঠনে কোনও প্রতিসাম্যের (symmetry) অভাবই সক্রিয়তার কারণ। যেমন ইক্ষুচিনি, টারটারিক অ্যাসিড প্রভৃতির অণু। কিন্তু কোয়ার্জ প্রভৃতি কেলাসিত কঠিন পদার্থের ক্ষেত্রে তিনি অনুমান করেন, ঐসকল পদার্থের কেলাস-গঠনের মধ্যে কোনও প্রতিসাম্যের অভাব তাদের আলোক-সক্রিয়তার কারণ।

1874 খৃষ্টাব্দে ভ্যাণ্ট হফ্‌ ও লা বেল (Vant Hoff and Le Bell) আলোক-সক্রিয়তা সম্বন্ধে একটি পূর্ণতর তত্ত্ব উপস্থাপিত করেন। তাঁরা বলেন, জৈব যৌগের অণুতে **অপ্রতিসম** (Asymmetric) **কার্বন পরমাণুর** উপস্থিতিই ঐ অণুর আলোক-সক্রিয়তার জন্য দায়ী। কার্বন পরমাণুর চারটি যোজ্যতার বাহু (Valency bonds) একটি চতুস্তলকের (Tetrahedron) চারটি শীর্ষের দিকে বিলম্বিত এবং কার্বন পরমাণুটি ঐ চতুস্তলকের ঠিক কেন্দ্রে অবস্থিত মনে করতে হবে। ঐ চারটি যোজ্যতা বাহুতে চারটি বিভিন্ন পরমাণু বা মূলক (Radical) যুক্ত আছে কল্পনা করলে দেখা যাবে দুটি পরস্পর সমাপতনের অযোগ্য (Non-superposable) চতুস্তলক আণবিক গঠন পাওয়া যাচ্ছে। ভ্যাণ্ট হফ্‌ এবং লা বেল-এর মতে, এদের এক একটি আণবিক গঠন এক এক ধরনের আলোক-

সক্রিয়তা উৎপন্ন করে। নীচের ছবিতে এইরকম দুটি চতুস্তলক আঁকা হয়েছে। তাদের শীর্ষবিন্দুতে অবস্থিত w, x, y, z হচ্ছে চারটি বিভিন্ন পরমাণু বা মূলকের অবস্থান। চতুস্তলক দুটির কেন্দ্রে অপ্রতিসম কার্বন পরমাণুটির অবস্থান অনুমান করে নিতে হবে। এখন দেখা যাচ্ছে, প্রথম আণবিক বিন্যাসটিকে দ্বিতীয়টির উপরে কোনও উপায়েই সমাপতিত করা যাবে না।

চিত্র ১৩০

অ-সমাপতনযোগ্য চতুস্তলক আণবিক গঠন।

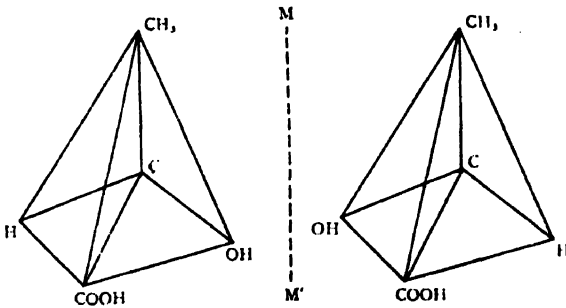
এ দুটি ছাড়া অন্য যত রকমের বিন্যাসই কল্পনা করা যাক না কেন, তারা নতুন কোনও বিন্যাস হবে না। কারণ চতুস্তলকটি ঘুরিয়ে তাদের প্রত্যেককে এই দুটির যে কোনও একটি বিন্যাসের সঙ্গে মিলিয়ে দেওয়া যাবে। আরও লক্ষ্য করা যাবে, এই দুটি বিন্যাসের একটি অপরটির ঠিক সমতল দর্পণীয় বিম্ব। মাঝখানের MM′ ভাঙা রেখাটিকে সমতল দর্পণ মনে করা যেতে পারে। এই দুটি আণবিক গঠনের মধ্যে একটি যদি দক্ষিণাবর্তী ঘূর্ণন ঘটায়, অপরটি বামাবর্তী ঘূর্ণন ঘটাবে। যদি কোনও পদার্থে এদের মধ্যে কোনও এক ধরনের অণুর প্রাধান্য থাকে অথবা মাত্র একই ধরনের অণু বর্তমান থাকে তাহ'লে ঐ ধরনের অণুর প্রকৃতি অনুসারে পদার্থটির দ্বারা ঘূর্ণনের দিক নির্ণীত হবে। কিন্তু দুটি প্রকারভেদ যদি সমপরিমাণে থাকে তাহ'লে কোনও ঘূর্ণন হবে না।

পোপ, পিচি (Pope, Peachy) প্রভৃতি বিজ্ঞানীরা পরবর্তীকালে দেখিয়েছেন, কেবলমাত্র অপ্রতিসম কার্বন পরমাণু নয়, অপ্রতিসম নাইট্রোজেন (N), টিন (Sn), গন্ধক (S) এবং ফসফরাস (P) পরমাণুও কোনও যৌগের অণুর মধ্যে উপস্থিত থেকে আলোক-সক্রিয়তা ঘটায়।

তরলের তুলনায় কঠিন আলোক-সক্রিয় পদার্থের সক্রিয়তা অনেক বেশী হয়। যেমন, এক মিলিমিটার পুরু কোয়ার্জ প্লেট লাল আলোকের ক্ষেত্রে

প্রায় 18° পরিমাণ ঘূর্ণন উৎপন্ন করে। কিন্তু এক মিলিমিটার টারপেণ্টাইন অয়েল উৎপন্ন করে মাত্র $\frac{1}{4}^\circ$ ঘূর্ণন। আলোক-সক্রিয় তরল বা দ্রবণ নিষ্ক্রিয় কোনও পদার্থের সঙ্গে মিশ্রিত করলেও তার আলোক-সক্রিয়তা বজায় থাকে।

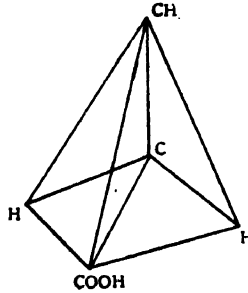
৮.৩ অপ্রতিসম অণুর উদাহরণ:

কয়েকটি উদাহরণের উল্লেখ করলে অপ্রতিসম অণুর বৈশিষ্ট্য বুঝতে পারা যাবে। ল্যাক্‌টিক অ্যাসিডের মধ্যে আলোক-সক্রিয়তা দেখতে পাওয়া যায়। ল্যাক্‌টিক অ্যাসিডের দক্ষিণাবর্তী ও বামাবর্তী অণুর আণবিক গঠন ১৩১-তম চিত্র থেকে বুঝতে পারা যাবে। এই যৌগ পদার্থটিতে অপ্রতিসম কার্বন পরমাণুর সঙ্গে যুক্ত আছে যে চারটি মূলক ও পরমাণু, তারা হচ্ছে যথাক্রমে OH, COOH, H এবং CH_3। কার্বন পরমাণুকে মাঝখানে রেখে তাদের বিন্যাস চিত্রে প্রদর্শিত (ক) অথবা (খ)-এর অনুরূপ হতে পারে। এই দুটি

চিত্র ১৩১

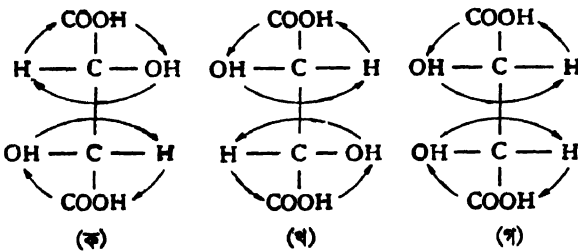
(ক) (খ)

দক্ষিণাবর্তী ও বামাবর্তী ল্যাক্‌টিক অ্যাসিড অণুর গঠন।

আণবিক গঠন ঠিক পরস্পরের সমতল দর্পণীয় বিম্ব এবং তাদের কিছুতেই সমাপতিত করা যায় না। সুতরাং তাদের একটি বিন্যাস দক্ষিণাবর্তী ঘূর্ণন ঘটালে, অপরটি বামাবর্তী ঘূর্ণনের জন্য দায়ী হবে। দেখা গেছে, (ক)-চিহ্নিত গঠনটি দক্ষিণাবর্তী এবং (খ)-চিহ্নিত গঠনটি বামাবর্তী ঘূর্ণন ঘটায়। আবার ল্যাক্‌টিক অ্যাসিড অর্থাৎ $CH_3CH(OH).COOH$-কে বিজারিত ক'রে প্রপিয়নিক অ্যাসিডে ($CH_3.\ CH_2.\ COOH$) রূপান্তরিত করলে তার মধ্যে আর আলোক-সক্রিয়তা ধর্ম থাকে না। কারণ প্রপিয়নিক অ্যাসিডের

মধ্যে OH মূলকের স্থান H পরমাণু গ্রহণ করায় আর অপ্রতিসম গঠনের দুটি বিন্যাস সম্ভব হয় না। নীচের চিত্র থেকে এই বিষয় প্রতীয়মান হবে।

চিত্র ১৩২

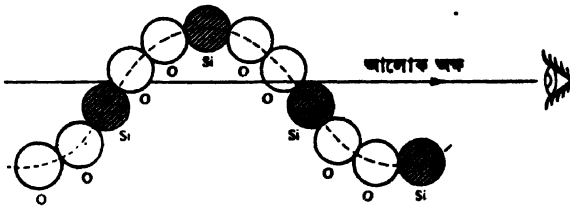
প্রপিয়নিক অ্যাসিডের আণবিক গঠন।

টারটারিক অ্যাসিডের উদাহরণটিও নেওয়া যেতে পারে। এক্ষেত্রে প্রতি অণুতে দুটি অপ্রতিসম কার্বন পরমাণু থাকে। সুতরাং টারটারিক অ্যাসিডের

চিত্র ১৩৩

টারটারিক অ্যাসিডের আণবিক গঠন।

আণবিক গঠন তিন রকমের হতে পারে : (এক) দুটি কার্বন পরমাণুই দক্ষিণাবর্তী ঘূর্ণনের জন্য দায়ী, (দুই) দুটি কার্বন পরমাণুই বামাবর্তী ঘূর্ণনের জন্য দায়ী এবং (তিন) একটি দক্ষিণাবর্তী এবং একটি বামাবর্তী ঘূর্ণনের কারণ হওয়ায় সামগ্রিকভাবে অণুটি আলোক-নিষ্ক্রিয়। ১৩৩ (ক) ও (খ) চিত্রে H, OH এবং COOH-এর আপেক্ষিক অবস্থান লক্ষ্য করলে দেখা যাবে, প্রত্যেক চিত্রে উপরের ও নীচের বিন্যাস একই রকম। ক-চিহ্নিত চিত্রে অবশ্য H, OH এবং COOH-এর আপেক্ষিক অবস্থান খ-চিহ্নিত চিত্রের ঠিক

বিপরীত। এদের একটি বিন্যাস দক্ষিণাবর্তী হ'লে, অপরটি হবে বামাবর্তী। ১৩৩ (গ) চিত্রে দেখা যাচ্ছে, উপরে ও নীচে দুটি কার্বন পরমাণুর সঙ্গে যুক্ত মূলক ও পরমাণুগুলির সজ্জা ঠিক পরস্পর বিপরীত। এক্ষেত্রে সিদ্ধান্ত করা যেতে পারে একটি বিন্যাসের ক্রিয়া অপরটির দ্বারা বিলুপ্ত হচ্ছে এবং সমগ্র অণুটি হচ্ছে আলোক-সক্রিয়তা ধর্মের দিক থেকে নিষ্ক্রিয়। বাস্তবক্ষেত্রে এইরকম গঠনের অণুই হচ্ছে নিষ্ক্রিয় মেসো-টারটারিক (Meso-tartaric) অ্যাসিড।

কেলাসিত সক্রিয় পদার্থের গঠন : কোয়ার্জ প্রভৃতি আলোক-সক্রিয় কেলাসের আণবিক গঠন পর্যবেক্ষণ করলেও তাদের আলোক-সক্রিয়তার কারণ অনুমান করা যায়। যেমন কোয়ার্জের আণবিক সংকেত SiO_2।

চিত্র ১৩৪

কোয়ার্জ কেলাসের এক্স-রে ফোটোগ্রাফ নিয়ে দেখানো হয়েছে, একটি Si পরমাণু এবং তারপর দুটি O পরমাণুর একটি করে স্তর যেন কেলাসের মধ্যে পরপর সামান্য ব্যবর্তিত (twisted) বা মোচড়ানো ভাবে অবস্থিত আছে। তার ফলে আলোক-অক্ষ বরাবর তাকালে Si এবং দুটি O পরমাণুর বিন্যাসের যে কোনও বক্ররেখা যেন কোনও কেলাসে দক্ষিণাবর্তী এবং কোনও কেলাসে বামাবর্তী শঙ্খিল রেখায় (প্যাঁচে) সজ্জিত আছে দেখা যায়। দক্ষিণাবর্তী ও বামাবর্তী বিন্যাসই যথাক্রমে দক্ষিণাবর্তী ও বামাবর্তী কেলাসে লক্ষ্য করা যায়।

৮.৪ বায়টের সূত্রাবলী (Biot's Laws) :

আলোক-সক্রিয়তা সম্বন্ধে নানা পরীক্ষা ও পর্যবেক্ষণের পরে বায়ট নিম্নলিখিত সূত্রাবলী লিপিবদ্ধ করেন :

কঠিন পদার্থের আলোক-সক্রিয়তা সম্বন্ধে সূত্রাবলী

(১) কম্পন তলের ঘূর্ণনের পরিমাণ আলোক-সক্রিয় কেলাসের বেধের (thickness) সমানুপাতী।

(২) আলোক-রশ্মি যদি পরপর দুই বা তদধিক আলোক-সক্রিয় কেলাসের ভিতর দিয়ে যায় তাহ'লে লব্ধি ঘূর্ণন হবে প্রত্যেক কেলাস দ্বারা উৎপন্ন ঘূর্ণনের বীজগণিতীয় যোগফল। এখানে দক্ষিণাবর্তী ঘূর্ণনকে পজিটিভ ধরলে, বামাবর্তী ঘূর্ণনকে নেগেটিভ ধরতে হবে।

(৩) বিভিন্ন রঙ-এর আলোক ব্যবহার করলে কোনও নির্দিষ্ট কেলাসের দ্বারা উৎপন্ন ঘূর্ণন আলোকের তরঙ্গদৈর্ঘ্যের বর্গের সঙ্গে মোটামুটি ব্যস্তানুপাতী হবে। অর্থাৎ যদি θ ঘূর্ণন এবং λ তরঙ্গদৈর্ঘ্যকে সূচিত করে তাহ'লে,

$$\text{কার্যত, } \theta \propto \frac{1}{\lambda^2} \text{ ।}$$

তরল পদার্থের আলোক-সক্রিয়তা সম্বন্ধে সূত্রাবলী

(১) আলোক-সক্রিয় তরলের ক্ষেত্রে উৎপন্ন ঘূর্ণন তরলের মধ্যে আলোক-রশ্মির পথের দৈর্ঘ্যর সঙ্গে সমানুপাতী।

(২) আলোক-সক্রিয় কোনও পদার্থের দ্রবণের ক্ষেত্রে, (ক) দ্রবণের মধ্যে আলোক-রশ্মির পথের দৈর্ঘ্য নির্দিষ্ট থাকলে, উৎপন্ন ঘূর্ণন দ্রবণের গাঢ়তার (concentration) সঙ্গে সমানুপাতে বৃদ্ধি পাবে, এবং (খ) দ্রবণের গাঢ়তা নির্দিষ্ট থাকলে, উৎপন্ন ঘূর্ণনের পরিমাণ দ্রবণের মধ্যে আলোক-রশ্মির পথের দৈর্ঘ্যের সঙ্গে সমানুপাতী হবে।

(৩) নির্দিষ্ট দৈর্ঘ্যের (ও নির্দিষ্ট গাঢ়তাবিশিষ্ট) দ্রবণের বা তরলের ক্ষেত্রে উৎপন্ন ঘূর্ণন আলোকের তরঙ্গদৈর্ঘ্যের বর্গের সঙ্গে মোটামুটিভাবে ব্যস্তানুপাতী হবে। অর্থাৎ কার্যত, $\theta \propto \frac{1}{\lambda^2}$ ।

(৪) একাধিক আলোক-সক্রিয় পদার্থের মিশ্র দ্রবণ নিলে, মোট উৎপন্ন ঘূর্ণন প্রত্যেক পদার্থের দ্বারা উৎপন্ন ঘূর্ণনের বীজগণিতীয় যোগফল হবে।

উষ্ণতাবৃদ্ধির সঙ্গে কঠিন পদার্থের ক্ষেত্রে সাধারণত ঘূর্ণন বৃদ্ধি পায়, কিন্তু দ্রবণ বা তরলের ক্ষেত্রে হ্রাস পায়।

ঘূর্ণ-বিচ্ছুরণ (Rotatory dispersion) **:** বায়টের সূত্র থেকে দেখা যায় কম্পন তলের ঘূর্ণন তরঙ্গদৈর্ঘ্যের উপর নির্ভরশীল। সুতরাং একটি মিশ্র আলোক (অর্থাৎ বিভিন্ন তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোকের মিশ্রণ) যদি কোনও আলোক-সক্রিয় মাধ্যমের ভিতর দিয়ে যায় তাহ'লে বিভিন্ন রঙের আলোক বিভিন্ন কোণে ঘূর্ণিত হবে। এইভাবে বিভিন্ন রঙের আলোক পরস্পর থেকে পৃথক হয়ে যাওয়াকে বলে আলোকের বিচ্ছুরণ (dispersion)। আলোক-সক্রিয় পদার্থের দ্বারা কোনও মিশ্র আলোকের বিভিন্ন তরঙ্গদৈর্ঘ্যে বিশ্লিষ্ট হওয়াকে বলে ঘূর্ণ-বিচ্ছুরণ (Rotatory dispersion)।

ঘূর্ণ-বিচ্ছুরণকে বর্ণালিবীক্ষণ যন্ত্রে প্রিজ্‌ম্‌ দ্বারা উৎপন্ন বিচ্ছুরণের মতো দেখা যাবে মনে করলে ভুল হবে। ঘূর্ণ-বিচ্ছুরণ প্রত্যক্ষ করতে হ'লে ঘূর্ণ-বিচ্ছুরিত আলোক একটি বিশ্লেষক দ্বারা পরীক্ষা করতে হবে। বিশ্লেষকের কোনও একটি অবস্থানে তার মূল তল বিভিন্ন কোণে বিচ্ছুরিত বিভিন্ন রঙের আলোকের মধ্যে কোনও একটির সঙ্গে সমকোণে থাকতে পারে। তাহ'লে সেই রঙের আলোকটি বিশ্লেষক দ্বারা সম্পূর্ণ অবরুদ্ধ হবে। সুতরাং মিশ্র আলোকের মধ্যে বিশ্লেষক দ্বারা সঞ্চালিত অন্যান্য রঙ-এর মিশ্রণ দৃষ্টিক্ষেত্রে দেখা যাবে।

ঘূর্ণ-বিচ্ছুরণের উদাহরণ : এক মিলিমিটার পুরু কোয়ার্জ দ্বারা :

লাল আলোকের ঘূর্ণন হয় প্রায় 16°
হলুদ " " " " 21°
বেগুনী " " " " 47°

ঘূর্ণনাঙ্ক বা আপেক্ষিক ঘূর্ণন (Specific rotation) **:** কোনও আলোক-সক্রিয় জৈব যৌগের ঘূর্ণন-ক্ষমতাকে ঘূর্ণনাঙ্ক দ্বারা প্রকাশ করা হয়। আমরা দেখলাম, নির্দিষ্ট উষ্ণতায় কোনও দ্রবণের ঘূর্ণন উৎপন্ন করার ক্ষমতা ঐ দ্রবণের গাঢ়তা এবং দ্রবণের মধ্যে আলোক-রশ্মির পথের দৈর্ঘ্য এই উভয় অনুষঙ্গের উপর নির্ভরশীল। এই কথা মনে রেখে ঘূর্ণনাঙ্কের নিম্নলিখিতরূপ সংজ্ঞা নির্দেশ করা হয়েছে :

ঘূর্ণনাঙ্ক : নির্দিষ্ট তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সমতল-সমবর্তিত আলোকের ক্ষেত্রে কোনও আলোক-সক্রিয় দ্রাব পদার্থের ঘূর্ণনাঙ্ক দ্বারা ঐ পদার্থের একক গাঢ়তা-বিশিষ্ট দশ সেন্টিমিটার দীর্ঘ দ্রবণের দ্বারা উৎপন্ন কম্পন তলের ঘূর্ণনকে বোঝায়। কোনও আলোক-সক্রিয় পদার্থের এক ডেসিমিটার দীর্ঘ দ্রবণের দ্বারা উৎপন্ন ঘূর্ণনকে যদি ঐ

দ্রবণের প্রতি সি.সি.তে বর্তমান সক্রিয় উপাদানের গ্রামে প্রকাশিত ভর দ্বারা ভাগ করা যায় তাহ'লে ঐ পদার্থের ঘূর্ণনাঙ্ক পাওয়া যাবে।

ঘূর্ণনাঙ্ক আলোকের **তরঙ্গদৈর্ঘ্য** এবং দ্রবণের **উষ্ণতার** উপর নির্ভর করবে।

ধরা যাক, কোনও দ্রবণের V সি.সি.তে m গ্রাম সক্রিয় পদার্থ আছে। ঐ দ্রবণের ভিতর l সেমি. দীর্ঘ পথ অতিক্রম করার সময়ে কোনও সমবর্তিত আলোকের কম্পন তল θ কোণে আবর্তিত হ'ল। তাহ'লে আলোচ্য সক্রিয় পদার্থের ঘূর্ণনাঙ্ক হবে :

$$\alpha=\frac{\theta}{\frac{l}{10}\times\frac{m}{V}}$$

উদাহরণ : 5 গ্রাম ইক্ষুচিনি জলে মিশিয়ে 100 সি.সি. দ্রবণ প্রস্তুত করা হ'ল। একটি 20 সেমি. দীর্ঘ নলে রাখা ঐ দ্রবণ সোডিয়ামের সমবর্তিত হলুদ আলোকের কম্পন তলকে 6·65° পরিমাণ ঘূর্ণিত করলো। ইক্ষুচিনির ঘূর্ণনাঙ্ক কত ?

এখানে $\theta=6{\cdot}65°$; $l=20$ সেমি. ; $m=5$ গ্রাম ; V = 100 সি.সি.

সুতরাং $$\alpha=\frac{\theta}{\frac{l}{10}\times\frac{m}{V}}=\frac{6{\cdot}65}{\frac{20}{10}\times\frac{5}{100}}=66{\cdot}5°$$

৮·৫ ঘূর্ণনাঙ্ক নির্ণয়, পোলারিমিটার :

কোনও আলোক-সক্রিয় পদার্থের ঘূর্ণনাঙ্ক নির্ণয় প্রণালী পূর্বের ১২৯-তম চিত্রের সাহায্যে বুঝতে পারা যাবে। এইরকম ব্যবস্থাযুক্ত যন্ত্রকে পোলারিমিটার (Polarimeter) বলা হয়। আবার এদের দ্বারা চিনি বা শর্করার গাঢ়তা নির্ণয় করা যায় ব'লে এদের শর্করামিটারও (Saccharimeter) বলা হয়। পরস্পর বিষম অবস্থানে রাখা দুটি নিকলের মাঝখানে আলোক-সক্রিয় দ্রবণটিকে একটি কাচের নলে রাখতে হবে। এখন বিশ্লেষক নিকলটির যতখানি কোণে ঘূর্ণনের দ্বারা আবার দৃষ্টিক্ষেত্র সম্পূর্ণ অন্ধকার হবে, আলোকের কম্পন তল সক্রিয় পদার্থ দ্বারা ঠিক ততখানি ঘুরেছে বুঝতে হবে। বিশ্লেষকের সঙ্গে সংলগ্ন কৌণিক স্কেল ও ভার্নিয়ারের সাহায্যে এই কোণের পরিমাণ নির্ণয় করা যাবে। কিন্তু এইরকম পরিমাপ-প্রণালীতে খুব বেশী পরিমাণে ভুল হওয়ার সম্ভাবনা।

কারণ কোথায় ঠিক দৃষ্টিক্ষেত্র 'সম্পূর্ণ অন্ধকার' হচ্ছে, চোখে দেখে তা নির্ণয় করা অত্যন্ত কঠিন। বিশ্লেষকের যে অবস্থানে দৃষ্টিক্ষেত্র সম্পূর্ণ অন্ধকার হয় তার দু-পাশে বেশ কয়েক ডিগ্রী পর্যন্ত ঘোরালেও দৃষ্টিক্ষেত্রকে সম্পূর্ণ অন্ধকার বোধ হতে থাকে। সুতরাং $40°$-$50°$ কোণে প্রায় $4°$-$5°$ ভুলের সম্ভাবনা থেকে যাওয়া সম্ভব। এই ত্রুটি দূর করার জন্যে নানারকম ব্যবস্থা অবলম্বন করা হয়েছে। পূর্বে বর্ণিত ত্রুটিপূর্ণ পোলারিমিটারকে সাধারণ পোলারিমিটার বলা হয়। কার্যক্ষেত্রে নিম্নলিখিত বিভিন্ন ধরনের পোলারিমিটার ব্যবহৃত হয়; এদের মধ্যে প্রথমটি ব্যতীত অন্যগুলিতে পূর্বে উল্লিখিত ত্রুটি-হ্রাসের ব্যবস্থা করা হয়েছে ঃ

(ক) সাধারণ পোলারিমিটার ;

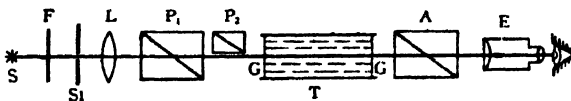
(খ) লিপিচ (Lippich) পোলারিমিটার ;

(গ) লরেণ্ট (Laurent) পোলারিমিটার ;

(ঘ) দ্বি-কোয়ার্জ (Biquartz) পোলারিমিটার।

সাধারণ পোলারিমিটারের বর্ণনা পূর্বে দেওয়া হয়েছে। অন্য ধরনের পোলারিমিটারগুলির বর্ণনা পরে দেওয়া হ'ল।

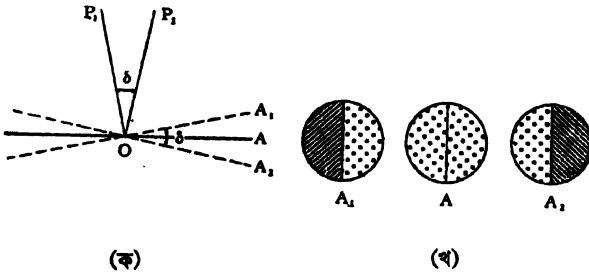
লিপিচ পোলারিমিটার ঃ লিপিচ উদ্ভাবিত এই পোলারিমিটারে সমবর্তক নিকলের পরে একটি বা দুটি অতিরিক্ত নিকল রাখা হয়। মূল সমবর্তকের সঙ্গে একটি অতিরিক্ত নিকল প্রিজ্‌ম্ থাকলে, তাকে দ্বি-প্রিজ্‌ম্ পোলারিমিটার এবং দুটি অতিরিক্ত নিকল প্রিজ্‌ম্ থাকলে, তাকে ত্রি-প্রিজ্‌ম্ পোলারিমিটার বলে।

দ্বি-প্রিজ্‌ম্ লিপিচ (Two-prism Lippich)ঃ এই যন্ত্রে মূল সমবর্তক নিকল P_1-এর পাশে আর একটি নিকল P_2 দৃষ্টিক্ষেত্রের ঠিক

চিত্র ১৩৫

দ্বি-প্রিজ্‌ম্ পোলারিমিটারের নকশা-চিত্র।

অর্ধেক জুড়ে থাকে। P_1 ও P_2-র মূল তল দুটি খুব ছোট কোণে (সাধারণত $3°$-র মতো) আনত রাখা হয় এবং প্রয়োজনমতো এই কোণকে উপযোজন করা যায়। শেষের দিকে বিশ্লেষক নিকল A এবং একটি

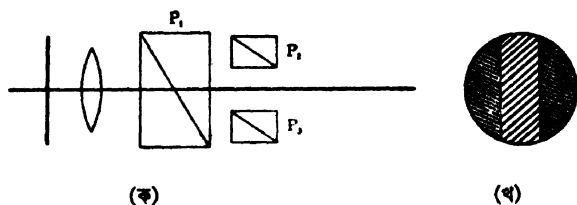
অভিনেত্র E অবস্থিত। বিশ্লেষক নিকলের কৌণিক অবস্থান তার সঙ্গে সংলগ্ন কৌণিক স্কেল ও ভার্নিয়ার (চিত্রে দেখানো হয়নি) দ্বারা নির্ণয় করা যায়। সমবর্তক ও বিশ্লেষক নিকলের মাঝখানে থাকে কাচের নল T, যার মধ্যে আলোক-সক্রিয় পদার্থের দ্রবণ নেওয়া হয়। নলটির দুই প্রান্ত দুটি কাচের প্লেট G, G দ্বারা বন্ধ থাকে। S একটি সাদা আলোকের উৎস, F একবর্ণীয় ফিলটার, Sl স্লিট এবং L রশ্মিগুচ্ছকে সমান্তরালকারী লেন্স।

ধরা যাক, P_1 এবং P_2-র মূল তলের মধ্যে আনতি কোণ δ। এই কোণকে অর্ধচ্ছায়া কোণ (Half-shadow angle) বলে। প্রথমে কাচের নলে কেবল পাতিত জল নিয়ে বিশ্লেষক A-র অবস্থান উপযোজন করতে হবে।

চিত্র ১৩৬

বিশ্লেষকের মূল তল যদি P_1 প্রিজ্‌মের মূলতলের সঙ্গে ঠিক সমকোণে A_1 অবস্থানে থাকে, দৃষ্টিক্ষেত্রে P_1-এর ভিতর দিয়ে আসা আলোক সম্পূর্ণ বাধাপ্রাপ্ত হবে। কিন্তু P_2-র ভিতর দিয়ে আসা আলোকের কম্পন তল A_1-এর সঙ্গে ঠিক সমকোণে না থাকায় দৃষ্টিক্ষেত্রের অপর অর্ধেক আংশিক আলোকিত হবে। দৃষ্টিক্ষেত্রটি এই অবস্থায় যেমন দেখাবে, তা A_1-চিহ্নিত বৃত্তটি থেকে বোঝা যাবে। আবার যদি বিশ্লেষক নিকল (১৩৫-তম চিত্রের A-কে) সামান্য ঘুরিয়ে (δ-পরিমাণ) P_2-র সঙ্গে বিষম অবস্থানে আনা হয় তাহ'লে দৃষ্টিক্ষেত্রের P_2 দ্বারা অধিকৃত অংশ অন্ধকার এবং P_1 দ্বারা অধিকৃত অংশ আংশিক আলোকিত হবে। এক্ষেত্রে দৃষ্টিক্ষেত্রটি হবে A_2-চিহ্নিত বৃত্তের অনুরূপ। কিন্তু যদি বিশ্লেষককে এই দুটি অবস্থানের ঠিক মাঝামাঝি চিত্র ১৩৬ (ক) অনুযায়ী A-অবস্থানে রাখা হয়, তাহলে উভয় নিকল P_1 ও P_2-র দ্বারা অধিকৃত অঞ্চল থেকেই কিছু আলোক দৃষ্টিক্ষেত্রে প্রবেশ করবে। তখনকার দৃষ্টিক্ষেত্রের চিত্রটি হবে A-চিহ্নিত বৃত্তের অনুরূপ। এই মাঝামাঝি

অবস্থানেই প্রত্যেক পর্যবেক্ষণের সময়ে বিশ্লেষককে রাখা হয়। A_1 ও A_2 বৃত্ত দুটির পরস্পর বৈপরীত্যের (contrast) জন্য এই অবস্থানটি নির্ণয় করতে অসুবিধা হয় না। তা ছাড়া ১৩৬(ক) চিত্রে A_1 ও A_2 অবস্থানের মধ্যে ব্যবধান হচ্ছে প্রথমে উপযোজিত অর্ধচ্ছায়া কোণের সমান, অর্থাৎ মাত্র 3°-র কাছাকাছি। তার অর্ধেক হচ্ছে $1{\cdot}5^\circ$, সুতরাং A-কে উপযোজন করবার সময়ে এই দেড় ডিগ্রীর মধ্যে ভুলের মাত্রা খুব বেশী হ'লে, $\frac{1}{2}$ ডিগ্রীর বেশী হয় না। এইভাবে ভুলের মাত্রা যথেষ্ট কমিয়ে আনা হয়। অর্ধচ্ছায়া কোণকে কমালে ভুলের মাত্রা কমে, কিন্তু খুব কম অর্ধচ্ছায়া কোণ নিলে A_1 অথবা A_2 অবস্থানে আলোকিত অর্ধাংশেও অত্যন্ত কম আলো আসে। তার ফলে উপযোজনের সুবেদিতা কমে যায়।

পদ্ধতির প্রথমে কাচের নলে পাতিত জল নিয়ে বিশ্লেষকের উপযোজিত অবস্থানে স্কেল ও ভার্নিয়ারের পাঠ নেওয়া হয়। তারপর কাচের নলে পাতিত জলের পরিবর্তে সক্রিয় দ্রবণ নেওয়া হয়। সুতরাং দৃষ্টিক্ষেত্রের চিত্র বদলিয়ে যায়। আবার বিশ্লেষক নিকলকে প্রয়োজনমতো ঘুরিয়ে দৃষ্টিক্ষেত্রকে A-র অনুরূপ করা হয়। পুনরায় বিশ্লেষকে সংলগ্ন স্কেল ও ভার্নিয়ারের পাঠ নেওয়া হয়। এখন উভয় পাঠের ব্যবধান থেকে সক্রিয় পদার্থ দ্বারা উৎপন্ন ঘূর্ণনের পরিমাণ পাওয়া যায়।

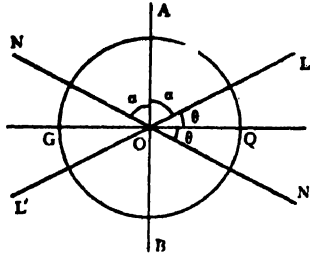
ত্রি-প্রিজ্‌ম্ লিপিচ: এই ব্যবস্থায় সমবর্তকের স্থানে তিনটি নিকল প্রিজ্‌ম্ নেওয়া হয়। P_1 বড় প্রিজ্‌ম্‌টি সমগ্র দৃষ্টিক্ষেত্র জুড়ে থাকে।

চিত্র ১৩৭

ত্রি-প্রিজ্‌ম্ লিপিচের নকশা-চিত্র।

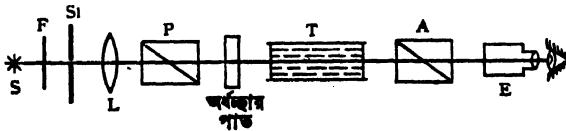
P_2 এবং P_3 দুটি ছোট নিকল দুই প্রান্তে দৃষ্টিক্ষেত্রের প্রায় এক-তৃতীয়াংশ করে স্থান জুড়ে থাকে।

P_2 ও P_3-র মূল তল পরস্পর সমান্তরাল কিন্তু তাদের P_1-এর সঙ্গে সামান্য কোণে (3°-র মতো) আনত রাখা হয়। এই পদ্ধতিতে দুই প্রান্তের

দৃষ্টিক্ষেত্রের উজ্জ্বলতা সর্বদা সমান থাকে। এই প্রণালী দ্বি-প্রিজ্‌ম্ প্রণালীর তুলনায় আরও সুবেদী। দৃষ্টিক্ষেত্রের চিত্র পাশের বৃত্তটির অনুরূপ হয়।

লরেণ্ট (Laurent) **পোলারিমিটার:** এই পোলারিমিটারে পর্যবেক্ষণের সুবেদিতা বাড়ানোর জন্য একটি অর্ধচ্ছায় পাত (half-shade plate) ব্যবহার করা হয়। দুটি সমান অর্ধবৃত্তাকার প্লেট ব্যাস বরাবর যুক্ত করে এই অর্ধচ্ছায় পাতটি প্রস্তুত করা হয়। তাদের একটি অর্ধবৃত্ত প্লেট AQB হচ্ছে কোয়ার্জের অর্ধতরঙ্গ পাত এবং অপরটি AGB কাচের পাত, যার বেধ

চিত্র ১৩৮

অর্ধচ্ছায় পাত।

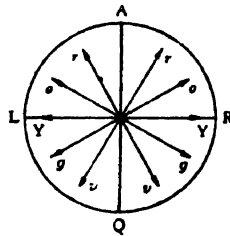
কোয়ার্জের পাতটির সমান আলোক শোষণ করার উপযুক্ত। দুটি প্লেট তাদের সাধারণ ব্যাস AB বরাবর যুক্ত। কোয়ার্জের মূল তল AB ব্যাসের সমান্তরাল। সমবর্তক P-এর (১৩৯-তম চিত্র) মূল তল কোনও সুবিধাজনক LL′-এর সমান্তরাল করে রাখা হয়। তাহ'লে দৃষ্টিক্ষেত্রের কাচের অর্ধাংশ AGB থেকে নির্গত আলোকের কম্পন তল অপরিবর্তিত অর্থাৎ LL′-এর সমান্তরালই থাকবে। ধরা যাক, এই তল AB-র সঙ্গে α কোণে আনত। কিন্তু কোয়ার্জের অর্ধাংশ

চিত্র ১৩৯

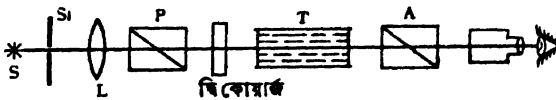
অর্ধচ্ছায় পাতের ব্যবহার।

দিয়ে যাওয়ার সময়ে দ্বৈত-প্রতিসরণ হবে এবং $\frac{\lambda}{2}$ পাতের ধর্মানুসারে কোয়ার্জ থেকে নির্গত আলোকের কম্পন তল আলোক-অক্ষ AB-র সঙ্গে বামাবর্তী

কোণে ঠিক α পরিমাণ ঘুরে NN′ অবস্থানে আসবে (৬ষ্ঠ অধ্যায়ের ১১০-তম চিত্রে $\delta=\pi$ ক্ষেত্রটি দ্রষ্টব্য)। বিশ্লেষক নিকল A-র মূলতল LL′ ও NN′-এর অন্তর্ভূত কোণের সমদ্বিখণ্ডক GQ বরাবর উপযোজন করতে হবে। তাহ'লে কাচ ও কোয়ার্জ উভয় অর্ধেই LL′ ও NN′-এর সমান্তরাল কম্পনের $\cos\theta$ উপাংশ সঞ্চালিত হয়ে উভয় দিকে সমান দীপন (Illumination) উৎপন্ন করবে। উপযোজন অবশ্য উভয় অর্ধে সমান দীপন হচ্ছে কিনা দেখেই করতে হবে, AB-র অবস্থানের তুলনায় নয়।

এখন যদি কাচের নলে (T) পাতিত জলের পরিবর্তে আলোক-সক্রিয় দ্রবণ নেওয়া হয়, তাহ'লে কাচ ও কোয়ার্জ উভয় অর্ধের কম্পনই সমপরিমাণে একদিকে ঘুরে যাবে। অতএব বিশ্লেষককে সেই দিকে ঠিক তত পরিমাণ ঘোরালে, আবার উভয় অর্ধে সমান দীপন লক্ষিত হবে। এই প্রণালীতে ঘূর্ণনের পরিমাণ মাপা যাবে।

দ্বি-কোয়ার্জ (Biquartz) ও তার ব্যবহার : অর্ধচ্ছায় পাতের পরিবর্তে দ্বি-কোয়ার্জ পাত ব্যবহার করলে যন্ত্রটি আরও সুবেদী হয়।

চিত্র ১৪০

দ্বি-কোয়ার্জের মূল নীতি।

চিত্র ১৪১

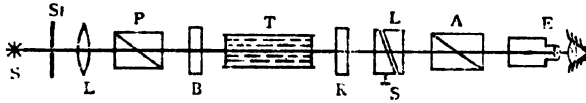
দ্বি-কোয়ার্জের ব্যবহার।

দ্বি-কোয়ার্জ হচ্ছে দুটি অর্ধবৃত্তাকার কোয়ার্জ প্লেট। তাদের একটি হচ্ছে বামাবর্তী কোয়ার্জ পাত ALQ এবং অপরটি দক্ষিণাবর্তী কোয়ার্জ পাত ARQ দ্বারা তৈয়ারী। উভয়েরই আলোক-অক্ষ পাতের তলের সঙ্গে লম্ব এবং লম্বভাবে

আপতিত আলোক-রশ্মির সমান্তরাল। উভয় পাতের বেধই 3·75 মিলিমিটার। এইরকম বেধের কোয়ার্জ পাতের দ্বারা $\lambda = 5600$ A.U. তরঙ্গদৈর্ঘ্য-বিশিষ্ট হলুদ সমবর্তিত আলোকের কম্পন তলের ঠিক 90° পরিমাণ ঘূর্ণন হয়। দ্বি-কোয়ার্জের সঙ্গে সর্বদা **সাদা আলোকের** উৎস ব্যবহার করতে হবে। এক্ষেত্রে ঘূর্ণ-বিচ্ছুরণ হওয়ার জন্য লাল থেকে আরম্ভ করে ভায়োলেট পর্যন্ত ক্রমবর্ধিত ঘূর্ণন হবে। AQ যদি সমবর্তক থেকে নির্গত সাদা আলোকের কম্পন তল হয়, তাহ'লে দ্বি-কোয়ার্জ থেকে নির্গত আলোকে বিভিন্ন রঙ-এর আলোকের কম্পনতল কি-ভাবে অবস্থিত হবে তা ১৪০-তম চিত্র থেকে বুঝতে পারা যাবে। r, o, y, g এবং v যথাক্রমে লাল, কমলা, হলুদ, সবুজ ও বেগনী রঙের কম্পন তলকে সূচিত করছে। একটি বামাবর্তী এবং অপরটি দক্ষিণাবর্তী কোয়ার্জ হওয়ায় তাদের দ্বারা ঘূর্ণন পরস্পর বিপরীত দিকে হবে।

বিশ্লেষক নিকলের মুল তল যদি কোনও তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোকের কম্পনের সঙ্গে সমকোণে থাকে তাহ'লে সেই কম্পন বিশ্লেষক দ্বারা সম্পূর্ণ বাধাপ্রাপ্ত হবে। অন্যান্য কম্পনের $\cos\theta$ উপাংশের মিশ্রণ বিশ্লেষক দ্বারা সঞ্চালিত হবে। এখন বিশ্লেষককে যদি AQ-র সমান্তরাল রাখা হয় তাহ'লে দুটি কোয়ার্জেই $\lambda = 5600$ A.U. তরঙ্গদৈর্ঘ্যের হলুদ আলোক বাধাপ্রাপ্ত হবে। সঞ্চালিত রঙ হবে লাল ও নীলের মিশ্রণে উৎপন্ন ধূসর বেগুনী (greyish Violet)। সুতরাং বিশ্লেষকের এই অবস্থানে দৃষ্টিক্ষেত্রের দুটি অর্ধই ধূসর বেগুনী দেখা যাবে। কিন্তু বিশ্লেষককে সামান্য ডাইনে বা বামে ঘোরালে একটি অর্ধবৃত্ত নীল এবং অপর অর্ধবৃত্ত ফিকে বেগুনী (Pink) দেখা যাবে। তাহ'লে বিশ্লেষকের AQ-র সমান্তরাল অবস্থানটি অত্যন্ত সুবেদী। কারণ তার একপাশে সামান্য ঘোরালে ডাইনে নীল ও বামে ফিকে বেগুনী, আবার অন্যদিকে সামান্য ঘোরালে ডাইনে ফিকে বেগুনী ও বামে নীল রঙ দেখা যায়। এইজন্য বিশ্লেষকের AQ অবস্থানে উভয় অর্ধের ধূসর বেগুনী রঙকে **সীমান্ত আভা** (Tint of passage) বা **সুবেদী আভা** (Sensitive tint) বলে। বাইকোয়ার্জ-যুক্ত পোলারিমিটারে বিশ্লেষক নিকলকে সর্বদা এই সীমান্ত আভায় উপযোজিত করে পাঠ নেওয়া হয়। এই অবস্থান থেকে যে কোনও দিকে সামান্য ঘূর্ণনের দ্বারা রঙের যে বৈপরীত্য উৎপন্ন হয়, তার জন্য এই অবস্থানটি অত্যন্ত সুবেদী এবং উপযোজনে ভুলের মাত্রা অত্যন্ত কম হয়।

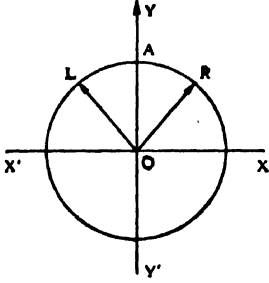
কোয়ার্জ কীলকের (Wedge) ব্যবহার: বিশ্লেষক নিকলের ঠিক আগে একজোড়া কোয়ার্জ পাত ব্যবহার করে খুব সূক্ষ্মভাবে ঘূর্ণনের

মাত্রা নির্ণয় করা যায়। এক্ষেত্রে বিশ্লেষককে ঘুরিয়ে ঘূর্ণনের মাত্রা নির্ণয় করতে হয় না। সমবর্তক নিকল P-এর পরে দ্বি-কোয়ার্জ B-কে বসানো হয়। তারপর থাকে আলোক-সক্রিয় দ্রবণের নল T, তারপর একটি দক্ষিণাবর্তী এবং একটি বামাবর্তী কোয়ার্জ পাত যথাক্রমে R এবং L থাকে। উভয়েই আলোক-অক্ষ আলোক-রশ্মির সমান্তরাল। L কোয়ার্জটি প্রকৃতপক্ষে দুটি কীলক (wege) বা গোঁজ-এর সমন্বয়। তাদের মধ্যে একটিকে স্ক্রু S দ্বারা ধীরে ধীরে স্থানান্তরিত করা যায়। স্ক্রু টির সঙ্গে মাইক্রোমিটার স্কেল

চিত্র ১৪২

সংযোজিত থাকে। প্রথমে R ও L-এর অনুপস্থিতিতে বিশ্লেষক A-কে সুবেদী আভার অবস্থানে আনা হয়। এখন R ও L-কে স্থাপিত করে L-এর সংলগ্ন স্ক্রুকে ঘোরানো হয়। তার ফলে L-এর কার্যকর বেধ পরিবর্তিত হ'তে থাকে। ঠিক যখন L-এর বেধ R-এর বেধের সমান হয় তখন দৃষ্টিক্ষেত্রে সুবেদী আভা ফিরে আসে। প্রথমে নলে পাতিত জল নিয়ে এই উপযোজন করা হয় এবং স্ক্রুর মাইক্রোমিটার স্কেলের প্রাথমিক পাঠ নেওয়া হয়। তারপর পাতিত জলের পরিবর্তে আলোক-সক্রিয় দ্রবণ দেওয়া হয়। এখন সুবেদী আভা দৃষ্টিক্ষেত্র থেকে অপসারিত হবে। স্ক্রু S-কে এইবার যেদিকে প্রয়োজন ঘুরিয়ে আবার সুবেদী আভাকে ফিরিয়ে আনা হয় এবং মাইক্রোমিটার স্কেলের দ্বিতীয় পাঠ নেওয়া হয়। স্কেলের দুটি পাঠের ব্যবধানকে ক্রমাঙ্কন (calibration) ধ্রুবক দ্বারা গুণ করলে দ্রবণের দ্বারা উৎপন্ন ঘূর্ণনের পরিমাণ জানা যায়। প্রথমে অবশ্য এই ক্রমাঙ্কন ধ্রুবক নির্ণয় করে নিতে হবে।

৮'৬ আলোক-সক্রিয়তা সম্বন্ধে ফ্রেনেলের তত্ত্ব:

আলোক-সক্রিয়তাকে ব্যাখ্যা করার জন্য ফ্রেনেল যে তত্ত্বের উপস্থাপনা করেছিলেন তা বলবিদ্যার একটি সিদ্ধান্তের উপর ভিত্তি করে প্রস্তাবিত। এই সিদ্ধান্ত অনুসারে কোনও সরল দোলগতির কম্পনকে সর্বদা দুটি পরস্পর বিপরীত দিকে ঘূর্ণনশীল বৃত্তীয় কম্পনে বিশ্লেষিত করা যায়। তাদের একটি

দক্ষিণাবর্তী এবং অপরটি বামাবর্তী ঘূর্ণন হবে। চিত্রে দেখানো হয়েছে, OA Y-অক্ষের সমান্তরাল একটি রৈখিক কম্পনের ভেক্টর। আলোক-সক্রিয় পদার্থে প্রবেশ ক'রে উহা OL এবং OR দ্বারা সূচিত দুটি বৃত্তীয় ভেক্টরে বিশ্লেষিত হয়েছে। আলোক-সক্রিয় পদার্থে প্রবেশ করা মাত্র সরলরৈখিক কম্পনটি ঐরকম দুটি বৃত্তীয় কম্পনে ভেঙে যাবে। তারপর তারা বিভিন্ন বেগে মাধ্যমের মধ্যে অগ্রসর হবে। তার ফলে মাধ্যম থেকে তারা একটি দশার ব্যবধান নিয়ে নির্গত হবে। নির্গত হওয়ার মুহূর্তে তারা আবার সম্মিলিত হয়ে একটি রৈখিক কম্পনে পরিণত হবে। কিন্তু উৎপন্ন দশার ব্যবধানের জন্য নির্গত সমতল-সমবর্তিত আলোকের কম্পন তল সক্রিয় পদার্থে আপতিত আলোকের কম্পন তলের তুলনায় ঘুরে যাবে। ধরা যাক, আলোক-সক্রিয় কেলাসের (বা দ্রবণের) উপর আপতিত কম্পনের সমীকরণ :

চিত্র ১৪৩

$$Y = 2a \sin \frac{2\pi t}{T}$$

কেলাসে বা দ্রবণে প্রবেশ করা মাত্র এই কম্পন দুটি বৃত্তীয় কম্পনে বিশ্লেষিত হবে, যাদের সমীকরণ :

$$\eta_1 = a \sin \frac{2\pi t}{T}, \ \xi_1 = a \cos \frac{2\pi t}{T} \qquad \text{(i)}$$

এবং $$\eta_2 = a \sin \frac{2\pi t}{T}, \xi_2 = -a \cos \frac{2\pi t}{T} \qquad \text{(ii)}$$

η_1, ξ_1-এর লব্ধি দক্ষিণাবর্তী এবং η_2, ξ_2-র লব্ধি বামাবর্তী বৃত্তীয় কম্পন হবে। আবার তাদের লব্ধি :

$$\eta_1 + \eta_2 = 2a \sin \frac{2\pi t}{T}$$

এবং $$\xi_1 + \xi_2 = 0$$

আলোক-সক্রিয় মাধ্যমের মধ্যে যদি বৃত্তীয় কম্পন দুটি x দূরত্ব অতিক্রম করে এবং ঐ মাধ্যমে তাদের বেগ যথাক্রমে v_1 ও v_2 হয়, তাহ'লে ঐ x দূরত্বে কম্পন দুটি নিম্নলিখিত সমীকরণ দ্বারা সূচিত হবে :

$$\eta_1 = a \sin \frac{2\pi}{T}\left(t - \frac{x}{v_1}\right), \quad \xi_1 = a \cos \frac{2\pi}{T}\left(t - \frac{x}{v_1}\right)$$

$$\eta_2 = a \sin \frac{2\pi}{T}\left(t - \frac{x}{v_2}\right), \quad \xi_2 = -a \cos \frac{2\pi}{T}\left(t - \frac{x}{v_2}\right)$$

তাদের লব্ধি কম্পন হবে ঃ

$$\eta = \eta_1 + \eta_2$$

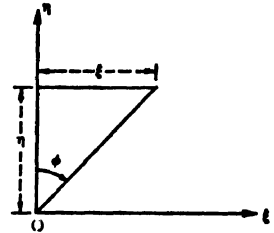
$$= 2a \sin \frac{2\pi}{T}\left\{t - \frac{x}{2}\left(\frac{1}{v_1} + \frac{1}{v_2}\right)\right\} \cos \frac{\pi x}{T}\left(\frac{1}{v_2} - \frac{1}{v_1}\right)$$

এবং $\xi = \xi_1 + \xi_2$

$$= -2a \sin \frac{2\pi}{T}\left\{t - \frac{x}{2}\left(\frac{1}{v_1} + \frac{1}{v_2}\right)\right\} \sin \frac{\pi x}{T}\left(\frac{1}{v_2} - \frac{1}{v_1}\right)$$

কোনও নির্দিষ্ট কেলাসের বেধ x-এর জন্য $\cos \frac{\pi x}{T}\left(\frac{1}{v_2} - \frac{1}{v_1}\right)$ এবং $\sin \frac{\pi x}{T}\left(\frac{1}{v_2} - \frac{1}{v_1}\right)$ সর্বসময়ের জন্য ধ্রুবক, কারণ এদের মধ্যে x, T, v_1, v_2 ধ্রুবক, কিন্তু পরিবর্তনশীল t অনুপস্থিত। সুতরাং η ও ξ-এর মানের মধ্যে এরা কম্পনের বিস্তার (Amplitude) হিসাবে কাজ করবে।

চিত্র ১৪৪

η এবং ξ দুটি পরস্পর লম্ব সরল দোলগতিকে প্রকাশ করছে, যাদের মধ্যে দশার ব্যবধান হচ্ছে π রেডিয়ান। সুতরাং তাদের সমন্বয়ে লব্ধি কম্পনও একটি সরলরৈখিক কম্পন হবে। এই লব্ধি কম্পনের η-অক্ষ থেকে কৌণিক দূরত্ব ϕ নিম্নোক্ত সমীকরণ থেকে পাওয়া যাবে।

$$\cot(-\phi) = \frac{\eta}{\xi} = -\cot \frac{\pi x}{T}\left(\frac{1}{v_2} - \frac{1}{v_1}\right)$$

$$= \cot\left\{-\frac{\pi x}{T}\left(\frac{1}{v_2} - \frac{1}{v_1}\right)\right\}$$

[দক্ষিণাবর্তী ঘূর্ণন ϕ-এ উপযুক্ত চিহ্ন প্রয়োগ ক'রে]

অর্থাৎ $\phi = \frac{\pi x}{T}\left(\frac{1}{v_2} - \frac{1}{v_1}\right)$

অতএব মূল আলোকের কম্পন থেকে নির্গত আলোকের কম্পন ϕ রেডিয়ান ঘুরে যাবে। সুতরাং আলোক-সক্রিয় মাধ্যমের মধ্যে আলোকের তরঙ্গ যত অগ্রসর হতে থাকে x তত বাড়তে থাকে এবং নির্গত আলোকের ভেক্টরটির ঘূর্ণনও তত বৃদ্ধি পায়।

এখন আলোকের ভেক্টরটির একটি সম্পূর্ণ ঘূর্ণনের ক্ষেত্রে, $\phi = 2\pi$।

অর্থাৎ $\phi = \frac{\pi x}{T}\left(\frac{1}{v_2} - \frac{1}{v_1}\right) = 2\pi$

বা $x = 2T \Big/ \left(\frac{1}{v_2} - \frac{1}{v_1}\right)$

v_1, v_2 এবং T-কে সি.জি.এস. এককে প্রকাশ করলে, $2T \Big/ \left(\frac{1}{v_2} - \frac{1}{v_1}\right)$ সেমি. দূরত্বে কম্পন তলের একটি সম্পূর্ণ ঘূর্ণন হবে।

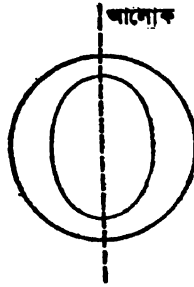
অতএব $\dfrac{2T}{\frac{1}{v_2} - \frac{1}{v_1}}$ সেমি.তে ঘূর্ণন $= 2\pi$ রেডিয়ান

$\therefore$ 1 " " $= \frac{\pi}{T}\left(\frac{1}{v_2} - \frac{1}{v_1}\right)$ রেডিয়ান

$= \frac{\omega}{2}\left(\frac{1}{v_2} - \frac{1}{v_1}\right)$ "

যখন $\omega = \frac{2\pi}{T}$ = আলোকের স্পন্দাঙ্ক।

কোয়ার্জের বৈশিষ্ট্য : কোয়ার্জের মধ্যে আলোক-অক্ষ বরাবর আলোক-রশ্মি গেলে যে ঘূর্ণন হয়, ফ্রেনেল তার ব্যাখ্যা করেন। ফ্রেনেলের মতে, কোয়ার্জের মধ্যে সাধারণ ও ব্যতিক্রান্ত তরঙ্গ তল দুটি আলোক-অক্ষ বরাবর ঠিক স্পর্শ করে না। তাদের মধ্যে একটু ব্যবধান থেকে যায়। কেবল কোয়ার্জ নয়, অন্যান্য আলোক-সক্রিয় দ্বৈত-প্রতিসারক কেলাসেরও এই বৈশিষ্ট্য থাকবে। সুতরাং এইজাতীয় মাধ্যমে যে দুটি বিপরীত বৃত্তীয় কম্পন উৎপন্ন হবে তারা বিভিন্ন বেগে আলোক-অক্ষ বরাবর ধাবিত হবে। এই

বিভিন্ন বেগের জন্যই তাদের মধ্যে দশার ব্যবধান উৎপন্ন হবে এবং নির্গত লব্ধি রৈখিক কম্পনটি কেলাসের উপর আপতিত কম্পনের তুলনায় ঘুরে যাবে।

চিত্র ১৪৫

স্যার জর্জ এয়ারি (Sir George Airy) প্রমাণ করে দেখান, যখন সমতল-সমবর্তিত কোনও আলোক কোয়ার্জের ভিতর আলোক-অক্ষের সঙ্গে কোনও কোণে আনত হয়ে অগ্রসর হয়, তখন তা দুটি উপবৃত্তীয় কম্পনে বিশ্লিষ্ট হয়ে বিভিন্ন বেগে অগ্রসর হতে থাকে। আলোক-অক্ষের সঙ্গে সমকোণে এই দুটি উপবৃত্তীয় কম্পন দুটি পরস্পর লম্ব সরলরৈখিক কম্পনে পরিণত হয়।

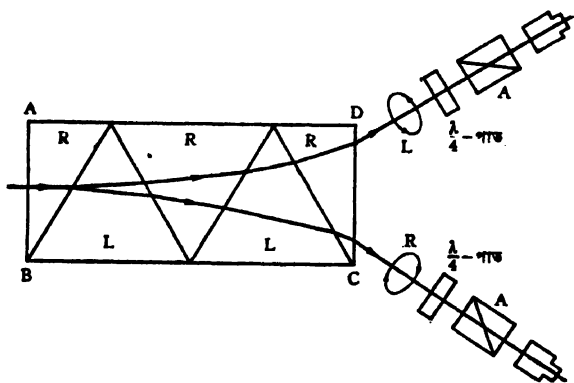
৮·৭ ফ্রেনেলের তত্ত্বের সত্যতা পরীক্ষা :

ফ্রেনেল নিজেই আলোক-সক্রিয়তা সম্বন্ধে তাঁর প্রস্তাবিত তত্ত্বের সত্যতা পরীক্ষা করেন।

এই পরীক্ষার উদ্দেশ্যে তিনি কয়েকটি দক্ষিণাবর্তী ও বামাবর্তী কোয়ার্জ প্রিজ্‌ম্‌কে পরপর এমনভাবে পাশাপাশি যুক্ত করেন যেন একটি দক্ষিণাবর্তীর পাশে একটি বামাবর্তী প্রিজ্‌ম্‌ থাকে। তা ছাড়া দু-প্রান্তের দুটি প্রিজ্‌ম্‌ এমন গঠনের নেওয়া হয় যে, সমন্বয়টি একটি আয়ত ঘনক হয় (চিত্রে ABCD)। চিত্রে L ও R চিহ্নিত প্রিজ্‌ম্‌গুলি যথাক্রমে বামাবর্তী ও দক্ষিণাবর্তী প্রিজ্‌ম্‌। প্রিজ্‌ম্‌গুলির আলোক-অক্ষ AB তলের সঙ্গে লম্বভাবে থাকে। এখন AB তলে একটি সমতল-সমবর্তিত একবর্ণীয় রশ্মিগুচ্ছ লম্বভাবে আপতিত করা হয়। ঐ সমতল-সমবর্তিত আলোক প্রথম প্রিজ্‌মে দুটি পরস্পর বিপরীত বৃত্তীয় কম্পনে বিশ্লেষিত হয়ে বিভিন্ন বেগে অগ্রসর হবে। প্রথম প্রিজ্‌মে লম্ব আপতন হওয়ায়, দুটি কম্পন একই দিকে

অগ্রসর হবে। কিন্তু দ্বিতীয় প্রিজ্‌মে তারা দ্বিধাবিভক্ত হয়ে যাবে। কারণ দুটি প্রিজ্‌মের বিভেদতলে দক্ষিণাবর্তী ও বামাবর্তী কম্পনের বেগের পরিবর্তন ঘটবে। যদি v_1 এবং v_2-কে কোয়ার্জের মধ্যে দক্ষিণাবর্তী ও বামাবর্তী আলোকের বেগ ধরা হয়, তাহ'লে ফ্রেনেলের সূত্র অনুসারে :

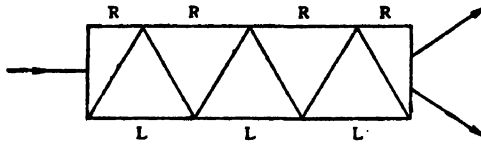
দক্ষিণাবর্তী বা R-চিহ্নিত প্রিজ্‌ম্‌গুলিতে $v_1 > v_2$

কিন্তু বামাবর্তী বা L-চিহ্নিত " $v_1 < v_2$

চিত্র ১৪৬
ফ্রেনেলের তত্ত্বের সত্যতা পরীক্ষা।

এখন প্রথম প্রিজ্‌ম্‌ থেকে দ্বিতীয় প্রিজ্‌মে প্রবেশের সময়ে দক্ষিণাবর্তী কম্পন-বিশিষ্ট আলোক-তরঙ্গ যেন লঘু থেকে গুরু মাধ্যমে প্রবেশ করবে, সুতরাং তা ভূমির দিকে বিচ্যুত হবে। বামাবর্তী কম্পনের ক্ষেত্রে দ্বিতীয় প্রিজ্‌মে v_2 বৃদ্ধি পাবে। অর্থাৎ বামাবর্তী কম্পন-বিশিষ্ট আলোক-তরঙ্গ যেন এক্ষেত্রে গুরু থেকে লঘু মাধ্যমে প্রবেশ করছে। সুতরাং এই রশ্মি দ্বিতীয় প্রিজ্‌মে শীর্ষের দিকে বিচ্যুত হবে। আবার দ্বিতীয় থেকে তৃতীয় প্রিজ্‌মে যাওয়ার সময়ে দক্ষিণাবর্তী কম্পন শীর্ষের দিকে এবং বামাবর্তী কম্পন ভূমির দিকে বিচ্যুত হবে। অর্থাৎ প্রত্যেক প্রিজ্‌মে দুটি রশ্মিগুচ্ছের বিচ্যুতি ধাপে ধাপে বৃদ্ধি পাবে। এইভাবে যখন শেষ প্রিজ্‌ম্‌ থেকে রশ্মিগুচ্ছ দুটি নির্গত হবে তখন তাদের মধ্যে ব্যবধান বেশ লক্ষণীয় হবে।

ফ্রেনেলের তত্ত্ব অনুযায়ী এই দুটি রশ্মিগুচ্ছের আলোক পরস্পর বিপরীত কম্পন-বিশিষ্ট হওয়া উচিত। এই অনুমান সত্য কিনা তা বৃত্তীয় সমবর্তিত

আলোকের বিশ্লেষণ পদ্ধতি অনুসারে পরীক্ষা করা যায়। একটি $\frac{\lambda}{4}$ পাত বা ব্যাবিনেটের পরিপূরক এবং বিশ্লেষক নিকল ব্যবহার করে প্রত্যেক রশ্মিগুচ্ছ যে বৃত্তীয় কম্পন-বিশিষ্ট আলোক এবং তাদের মধ্যে একটির কম্পন বামাবর্তী ও অপরটির কম্পন দক্ষিণাবর্তী তাও ফ্রেনেলের পরীক্ষা থেকে প্রমাণিত হয়।

তরলের সাহায্যে পরীক্ষা : এফ. ভি. ফ্লিশ (Fleischl) তরলের মধ্যেও ফ্রেনেলের অনুরূপ পরীক্ষা করে সফলকাম হয়েছিলেন। তিনি কাচের

চিত্র ১৪৭

প্লেট দিয়ে প্রস্তুত কতকগুলি ফাঁপা প্রিজ্‌ম্ নিয়ে, উপরের চিত্রানুযায়ী তাদের পরপর সংলগ্নভাবে সাজালেন। প্রিজ্‌ম্‌গুলি ক্রমান্বয়ে দক্ষিণাবর্তী ও বামাবর্তী তরল দিয়ে পূর্ণ করা হ'ল যাতে পাশাপাশি দুটি প্রিজ্‌মে পরস্পর বিপরীতধর্মী তরল থাকে। সমগ্র প্রিজ্‌ম্-সমন্বয়কে একটি ধাতব নলের মধ্যে সুরক্ষিত করে উপযুক্ত স্ট্যাণ্ডে বসানো হ'ল। এখন একটি সূক্ষ্ম, সমতল-সমবর্তিত আলোকের কিরণকে প্রিজ্‌ম্-সমন্বয়ের ভিতর দিয়ে সঞ্চালিত করে বিপরীত দিকে নির্গত আলোককে পরীক্ষা করা হ'ল। দু-দিকে বিচ্যুত দুটি রশ্মিগুচ্ছের আলোককে $\frac{\lambda}{4}$ পাত বা ব্যাবিনেটের পরিপূরক ও নিকলের সাহায্যে পরীক্ষা করে দেখা গেল একটি দক্ষিণাবর্তী ও অপরটি বামাবর্তী দিকে বৃত্তীয়ভাবে সমবর্তিত।

সারাংশ

কোয়ার্জ প্রভৃতি কতকগুলি কেলাসের আলোক-অক্ষ বরাবর কোনও সমতল-সমবর্তিত আলোক অগ্রসর হ'লে তার কম্পনের দিক ঘূর্ণিত হয়। ইক্ষুচিনি, টারটারিক অ্যাসিড প্রভৃতি দ্রবণ বা তরলের মধ্যেও এইরকম ঘূর্ণন হয়। এই ঘূর্ণনকে ঘূর্ণ-সমবর্তন বা আলোক-সক্রিয়তা বলে। রশ্মির দিকে মুখোমুখী তাকিয়ে, যে ঘূর্ণন ঘড়ির কাঁটার দিকে হয়, তাকে দক্ষিণাবর্তী

ঘূর্ণন এবং যে ঘূর্ণন তার বিপরীত দিকে হয়, তাকে বামাবর্তী ঘূর্ণন বলে। প্রত্যেক আলোক-সক্রিয় পদার্থের দক্ষিণাবর্তী ও বামাবর্তী দু-রকম প্রকারভেদ দেখা যায়।

আলোক-সক্রিয় কেলাসের ক্ষেত্রে কেলাসের গঠনকে এই সক্রিয়তার কারণ বলা হয়। কিন্তু তরল বা দ্রবণের ক্ষেত্রে সক্রিয় পদার্থের আণবিক গঠনকেই এইজন্য দায়ী মনে করা হয়। জৈব পদার্থের অণুর মধ্যে অবস্থিত অপ্রতিসম কার্বন, সালফার, নাইট্রোজেন প্রভৃতির পরমাণুকে কেন্দ্র করে অণুর অন্য পরমাণু বা মূলকগুলির দুটি সজ্জা হতে পারে, যারা পরস্পর দর্পণ-বিম্ব। তাদের একটি সজ্জা দক্ষিণাবর্তী কম্পনের কারণ হ'লে, অপরটি হয় বামাবর্তী কম্পনের কারণ। পাস্তুর, ভ্যাণ্ট হফ্‌, লা বেল প্রভৃতি এই তত্ত্বের অবতারণা করেন।

বায়ট আলোক-সক্রিয়তার কয়েকটি সূত্র লিপিবদ্ধ করেন। এই সূত্রাবলী অনুসারে ঘূর্ণনের পরিমাণ আলোক-সক্রিয় কেলাসের বেধের সমানুপাতী; তরলের ক্ষেত্রে তরলের গাঢ়তা এবং আলোকরশ্মির পথের দৈর্ঘ্যের সমানুপাতী। পরপর রাখা কতকগুলি বিভিন্ন বিপরীত ধর্মীয় কেলাসের দ্বারা লব্ধি ঘূর্ণন প্রত্যেক কেলাসের ঘূর্ণনের বীজগণিতীয় যোগফল। তা ছাড়া ঘূর্ণন আলোকের তরঙ্গদৈর্ঘ্যের বর্গের সঙ্গে মোটামুটিভাবে ব্যস্তানুপাতী। বিভিন্ন রঙের আলোকের বিভিন্ন ঘূর্ণনের ফলে যে বিচ্ছুরণ হয়, তাকে বলে ঘূর্ণ-বিচ্ছুরণ।

কোনও আলোক-সক্রিয় দ্রাব পদার্থের একক গাঢ়তাবিশিষ্ট দশ সেমি. দীর্ঘ দ্রবণের দ্বারা উৎপন্ন ঘূর্ণনকে ঐ পদার্থের ঘূর্ণনাঙ্ক বলে। পোলারিমিটার দ্বারা আলোক-সক্রিয় দ্রবণের ঘূর্ণনাঙ্ক অথবা দ্রবণের গাঢ়তা নির্ণয় করা যায়। সূক্ষ্মতা-বৃদ্ধির জন্য লিপিচ অর্ধচ্ছায়া, লরেণ্ট অর্ধচ্ছায় এবং দ্বি-কোয়ার্জ-যুক্ত পোলারিমিটার ব্যবহৃত হয়।

ফ্রেনেল আলোক-সক্রিয়তা সম্বন্ধে যে তত্ত্ব উপস্থাপিত করেন তদনুযায়ী একটি সমতল-সমবর্তিত আলোকের সরলরৈখিক সরল দোলগতিবিশিষ্ট কম্পন কোনও আলোক-সক্রিয় মাধ্যমে আলোক-অক্ষ বরাবর প্রবেশ করা মাত্র দক্ষিণাবর্তী ও বামাবর্তী দুটি বৃত্তীয় কম্পনে বিশ্লিষ্ট হয়। তারা বিভিন্ন বেগে মাধ্যমের মধ্যে অগ্রসর হয় এবং তাদের মধ্যে দশার ব্যবধান উৎপন্ন হয়। সুতরাং মাধ্যম থেকে নির্গত হওয়ার সময়ে বৃত্তীয় কম্পন দুটি আবার মিলিত হয়ে রৈখিক কম্পন উৎপন্ন করে। কিন্তু পূর্বের রৈখিক কম্পনের

তুলনায় এই নিষ্ক্রান্ত কম্পনের দিক পরিবর্তিত হয়। ফ্রেনেল দক্ষিণাবর্তী ও বামাবর্তী কতকগুলি প্রিজ্‌মের সমন্বয়ের ভিতর দিয়ে একটি রৈখিক কম্পনকে দ্বিধাবিভক্ত করে তাঁর তত্ত্বের সত্যতা প্রতিপন্ন করেন।

অনুশীলনী

১। আলোক-সক্রিয়তা ঘটনাটি একটি পরীক্ষার দ্বারা ব্যাখ্যা কর। দক্ষিণাবর্তী ও বামাবর্তী কম্পনের সংজ্ঞা নির্দেশ কর।

২। আলোক-সক্রিয়তা সম্বন্ধে লুই পাস্তুর, ভ্যাণ্ট হফ্‌ ও লা বেল কী তথ্য সংগ্রহ ও তত্ত্বের অবতারণা করেন ?

৩। আলোক-সক্রিয়তা সম্বন্ধে বায়টের সূত্রাবলী উল্লেখ কর।

৪। ঘূর্ণনাঙ্কের সংজ্ঞা নির্দেশ কর। ঘূর্ণনাঙ্ক নির্ণয়ের একটি পদ্ধতি বর্ণনা কর।

৫। টীকা লেখ ঃ

(ক) লিপিচ দ্বি-প্রিজ্‌ম্‌ পোলারিমিটার।

(খ) লরেণ্ট অর্ধচ্ছায় পোলারিমিটার।

(গ) দ্বি-কোয়ার্জ ও তার ব্যবহার।

(ঘ) সীমান্ত আভা, (ঙ) কীলক-বিশিষ্ট দ্বি-কোয়ার্জ।

(চ) ঘূর্ণ-বিচ্ছুরণ।

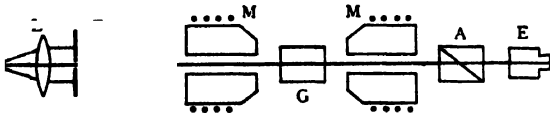
৬। আলোক-সক্রিয়তা সম্বন্ধে ফ্রেনেলের তত্ত্বটি বিবৃত কর। এই তত্ত্বের সত্যতা তিনি কেমন করে পরীক্ষা করেছিলেন ?

নবম অধ্যায়

আলোকের চৌম্বক, বৈদ্যুতিক প্রভৃতি ক্রিয়া

৯.১ ফ্যারাডের চৌম্বক-আলোক ক্রিয়া (Faraday's Magneto-optic Effect) :

মাইকেল ফ্যারাডে 1845 খৃষ্টাব্দে আলোকের উপর চৌম্বক-ক্ষেত্রের ক্রিয়া আবিষ্কার করেন। তিনি লক্ষ্য করেন, শক্তিশালী চৌম্বক-ক্ষেত্রে অবস্থিত কোনও উচ্চ প্রতিসরাঙ্ক-বিশিষ্ট সমসত্ত্ব মাধ্যম আলোক-সক্রিয়তা ধর্ম-বিশিষ্ট হয়, অর্থাৎ ঐ মাধ্যম সমতল-সমবর্তিত আলোকের কম্পন তলের ঘূর্ণন ঘটাতে পারে। এই ক্রিয়াকে ফ্যারাডে-ক্রিয়া (Faraday Effect) বলে। মাধ্যমটিকে শক্তিশালী চৌম্বক-ক্ষেত্রে রাখতে হয় এবং আলোক-রশ্মির পথ চৌম্বক-ক্ষেত্রের সঙ্গে সমান্তরাল হ'লেই সর্বাপেক্ষা অধিক ক্রিয়া লক্ষ্য করা যায়।

পরীক্ষা : ফ্যারাডে-ক্রিয়ার পরীক্ষা করার জন্য একটি তড়িৎ-চুম্বকের দুটি মেরুপ্রান্ত (Pole-pieces) M, M-এর মধ্যে লম্বালম্বি এমনভাবে ছিদ্র করা হয় যে, ছিদ্র দুটি যেন একই সরলরেখায় থাকে। ঐ ছিদ্র দুটি দিয়ে

চিত্র ১৪৮
ফ্যারাডে-ক্রিয়ার পরীক্ষা।

আলোক-রশ্মি একপ্রান্ত থেকে অন্যপ্রান্তে যায়। মেরু দুটির মাঝখানে থাকে স্বচ্ছ কোনও গুরু মাধ্যম, যেমন—সীসা-কাচের (Lead glass) একটি আয়তাকার খণ্ড G। মেরুদ্বয়ের দু-দিকে দুটি নিকল P এবং A যথাক্রমে সমবর্তক ও বিশ্লেষকের কাজ করে। S উৎস থেকে নির্গত আলোককে L-লেন্স এবং S1 স্লিট দ্বারা সমান্তরাল ও সূক্ষ্ম রশ্মিগুচ্ছে পরিণত করা হয়। F-ফিলটারটি সাদা আলোক থেকে কোনও এক-বর্ণের আলোককে সঞ্চালিত করে। E-অভিনেত্র (Eyepiece) দ্বারা দৃষ্টিক্ষেত্র দেখা যায়।

প্রথমে তড়িৎ-চুম্বকের কুণ্ডলীতে প্রবাহ না চালিয়ে P এবং A নিকল দুটিকে বিষম অবস্থানে আনা হয়। এখন দৃষ্টিক্ষেত্র সম্পূর্ণ অন্ধকার হবে। এইবার তড়িৎ-চুম্বকের কুণ্ডলীতে প্রবাহ চালানো হয়। সঙ্গে সঙ্গে দৃষ্টিক্ষেত্রও আলোকিত হয়। কিন্তু বিশ্লেষক নিকল A-কে প্রয়োজনানুরূপ ঘোরালে আবার দৃষ্টিক্ষেত্র অন্ধকার হয়। বিশ্লেষককে যত পরিমাণ কোণে এবং যেদিকে ঘোরানো প্রয়োজন হয়, তাই হচ্ছে চৌম্বক-ক্ষেত্রের প্রভাবে G কাচের ব্লক দ্বারা উৎপন্ন কম্পন তলের ঘূর্ণন। সূক্ষ্মভাবে এই কোণ মাপার জন্য অর্ধচ্ছায়া, অর্ধচ্ছায়, দ্বি-কোয়ার্জ প্রভৃতি ব্যবহার করা যেতে পারে।

জল, কার্বন ডাই-সালফাইড (CS_2) প্রভৃতি তরলের ক্ষেত্রেও ফ্যারাডে-ক্রিয়া লক্ষ্য করা যায়।

ফ্যারাডে-ক্রিয়া নিম্নলিখিত **নিয়ম**গুলিকে অনুসরণ করে ঃ

(ক) চৌম্বক-ক্ষেত্রের প্রাবল্যের সঙ্গে সামানুপাতিক হারে ঘর্ণন বৃদ্ধি পায়। অর্থাৎ ঘূর্ণন θ এবং চৌম্বক-ক্ষেত্রের প্রাবল্য H হ'লে, $\theta \propto H$।

(খ) মাধ্যমের মধ্যে পথের দৈর্ঘ্যের সঙ্গেও ঘূর্ণন সমানুপাতী। অর্থাৎ l, পথের দৈর্ঘ্য হ'লে, $\theta \propto l$।

সুতরাং $\theta = \gamma H l$, যখন γ একটি ধ্রুবক। γ-কে **ভারডেটের ধ্রুবক** (Verdet's Constant) বলে।

চৌম্বক-ক্ষেত্রের সঙ্গে আলোক-রশ্মির পথ সমান্তরাল না হয়ে যদি 'α' কোণে আনত থাকে, তাহ'লে সূত্রটি হবে ঃ $\theta = \gamma . H . \cos \alpha . l$

(গ) ঘূর্ণনের দিক অনুসারে ফ্যারাডে-ক্রিয়াশীল সমস্ত পদার্থকে দুই শ্রেণীতে ভাগ করা যায় ঃ তারা হচ্ছে যথাক্রমে পজিটিভ ও নেগেটিভ ঘূর্ণন-উৎপাদনকারী পদার্থ। সংজ্ঞা দুটি বুঝতে হ'লে, মনে করতে হবে চৌম্বক-ক্ষেত্রটি একটি সলিনয়েড দ্বারা উৎপন্ন হচ্ছে। এখন কুণ্ডলীর প্রবাহের সঙ্গে একই দিকে উৎপন্ন ঘূর্ণনকে বলা হয় **পজিটিভ ঘূর্ণন** এবং প্রবাহের বিপরীত দিকে উৎপন্ন ঘূর্ণনকে বলা হয় **নেগেটিভ ঘূর্ণন**।

এখানে স্বাভাবিক আলোক-সক্রিয়তার সঙ্গে ফ্যারাডে-ক্রিয়ার একটা পার্থক্য লক্ষণীয়। স্বাভাবিক আলোক-সক্রিয় পদার্থ দক্ষিণাবর্তী বা বামাবর্তী হ'তে পারে। কিন্তু এই সংজ্ঞা আলোক-রশ্মির অভিমুখের উপর নির্ভরশীল। যেমন, উৎসের দিকে তাকালে, দাক্ষিণাবর্তী পদার্থ কম্পন তলকে ঘড়ির কাঁটার দিকে ঘোরাবে। সুতরাং রশ্মির সঙ্গে লম্বভাবে অবস্থিত একটি সমতল

দর্পণের দ্বারা যদি রশ্মির অভিমুখ ফিরিয়ে দেওয়া হয়, তাহ'লে প্রথমে উৎপন্ন ঘূর্ণন ও প্রত্যাবর্তী আলোকের ঘূর্ণন পরস্পর বিপরীত দিকে এবং সমপরিমাণে হবে। তার ফলে একটি ঘূর্ণন অপরটির দ্বারা ঠিক রহিত হয়ে যাবে। কিন্তু **ফ্যারাডে-ক্রিয়ার ক্ষেত্রে ঘূর্ণনের দিক আলোক-রশ্মির অভিমুখের উপর নির্ভরশীল নয়, কেবল চৌম্বক-ক্ষেত্র-উৎপাদনকারী প্রবাহের দিকের উপর নির্ভরশীল।** দর্পণের দ্বারা আলোক-রশ্মিকে যদি আবার মাধ্যমের মধ্যে ফিরিয়ে দেওয়া হয়, তাহ'লে পথের দৈর্ঘ্য দ্বিগুণিত হবে। সুতরাং পূর্বে উল্লিখিত দ্বিতীয় সূত্র অনুসারে ঘূর্ণনের পরিমাণও দ্বিগুণিত হবে। এইভাবে সামান্য ঘূর্ণন-ক্রিয়া-বিশিষ্ট মাধ্যমের দ্বারা উৎপন্ন ঘূর্ণনকে কয়েকগুণ বর্ধিত করা যেতে পারে।

ভারডেট ধ্রুবক ও তার মান নির্ণয়ঃ আমরা দেখেছি, $\theta = \gamma . Hl$, যখন γ হচ্ছে ভারডেটের ধ্রুবক। $H = 1$ গউস (Gauss) এবং $l = 1$ সেমি. ধরলে, $\gamma = \theta$ রেডিয়ান/গউস/সেমি.। কয়েকটি পদার্থের ক্ষেত্রে ভারডেট ধ্রুবকের মান হচ্ছে— জলঃ ·013, কার্বন ডাই-সালফাইডঃ ·043 এবং ঘন ফ্লিণ্ট কাচঃ ·0888।

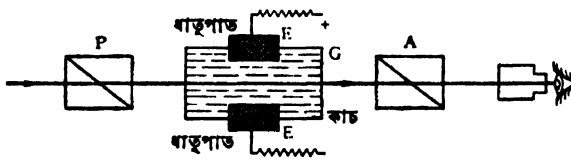
লোহা, নিকেল অথবা কোবলটের খুব পাতলা পাতের সঙ্গে সমকোণে চৌম্বক-ক্ষেত্র প্রয়োগ করে খুব উচ্চমানের পজিটিভ ঘূর্ণন পাওয়া গেছে। যেমন, মাত্র ·02 সেমি. পুরু লোহার পাতে কম্পন তলের সম্পূর্ণ বৃত্ত, অর্থাৎ 2π রেডিয়ান পরিমাণ ঘূর্ণন হয়।

ভারডেটের ধ্রুবক নির্ণয় করতে হ'লে পূর্বের ১৪৮-তম চিত্রের মতো সরঞ্জাম নিতে হয়। কুণ্ডলীর প্রবাহমাত্রা বাড়িয়ে চৌম্বক-ক্ষেত্রের প্রাবল্য ধাপে ধাপে বাড়ানো হয় এবং প্রত্যেক ক্ষেত্রে ঘূর্ণন মাপা হয়। সূক্ষ্মভাবে ঘূর্ণন পরিমাপের জন্য অর্ধচ্ছায়া, অর্ধচ্ছায় বা দ্বি-কোয়ার্জ ব্যবহার করা যায়। তারপর চৌম্বক-ক্ষেত্র ও ঘূর্ণনকে ভুজ ও কোটি ধরে একটি লেখ আঁকা যেতে পারে। এখন লেখ থেকে যে কোনও উপাত্ত (Data) নিয়ে ভারডেটের ধ্রুবক নির্ণয় করা যায়।

আলোকের তরঙ্গদৈর্ঘ্যের উপর ভারডেটের ধ্রুবক নির্ভরশীল। মোটামুটিভাবে, **তরঙ্গদৈর্ঘ্যের বর্গের সঙ্গে ঘূর্ণন ব্যস্তানুপাতী।** এই নিয়মটি আলোক-সক্রিয়তার ক্ষেত্রে বায়টের নিয়মের অনুরূপ। সুতরাং পরীক্ষায় একটি একবর্ণীয় ফিলটার ব্যবহার করা প্রয়োজন।

ম্যাক্সওয়েলের তড়িৎ-চুম্বকীয় তত্ত্ব অবতারণার প্রায় কুড়ি বছর পূর্বে ফ্যারাডে আলোকের উপর এই চুম্বক-ক্ষেত্রের প্রভাব আবিষ্কার করেন। ফ্যারাডের এই আবিষ্কার অবশ্যই ম্যাক্সওয়েলের চিন্তাকে প্রভাবিত করেছিল। তড়িৎ-চুম্বকীয় তত্ত্বের সাহায্যে ভয়েট (Voigt) ফ্যারাডে-ক্রিয়ার সন্তোষজনক ব্যাখ্যা দিয়েছিলেন। যে কোনও উপযুক্ত পুস্তকে এই ব্যাখ্যা পাওয়া যাবে।

৯.২ তড়িৎ-আলোকীয় ক্রিয়া বা কার ক্রিয়া (Electro-optic Effect or Kerr Effect) :

ডক্টর কার 1875 খৃষ্টাব্দে আলোকের উপর তড়িৎ-ক্ষেত্রের ক্রিয়া আবিষ্কার করেন। এই ক্রিয়া অনুসারে কোনও স্বচ্ছ তড়িৎ-বিভাজক (Di-electric) মাধ্যম, যেমন—কাচ, অলিভ তেল, টারপেনটাইন প্রভৃতির উপর প্রবল তড়িৎ-ক্ষেত্র প্রয়োগ করলে মাধ্যমটি তড়িৎ-ক্ষেত্রের উপস্থিতিকালে দ্বৈত-প্রতিসারক ধর্ম লাভ করে। তড়িৎ-ক্ষেত্র অপসারণের সঙ্গে সঙ্গে মাধ্যমের দ্বৈত-প্রতিসরণ ক্রিয়াও অন্তর্হিত হয়। কার একটি কাচের ব্লক G-এর দুই বিপরীত তলে ছিদ্র করে একটি আবেশ-কুণ্ডলীর (Induction Coil) গৌণ কুণ্ডলীর দুটি প্রান্ত E, E-কে ঐ ছিদ্র দুটিতে প্রবেশ করিয়ে দেন। দুটি প্রান্তের মধ্যে কাচের বেধ সিকি ইঞ্চির মতো রাখা হয়। সমবর্তক ও

চিত্র ১৪৯

কার ক্রিয়া।

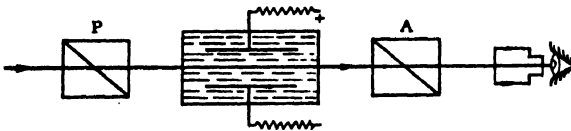
বিশ্লেষক নিকল-যুগল যথাক্রমে P ও A-র মাঝখানে কাচের ব্লকটি রাখা হয়। একটি একবর্ণীয় আলোকের রশ্মিগুচ্ছ E, E তড়িৎ-দ্বার দুটির মধ্যে উৎপন্ন তড়িৎ-ক্ষেত্রের সঙ্গে লম্বভাবে তড়িৎ-দ্বার দুটির মাঝখান দিয়ে পাঠানো হয়। প্রথমে আবেশ-কুণ্ডলীতে প্রবাহ না পাঠিয়ে নিকল দুটিকে বিষম অবস্থানে উপযোজন করা হয়। এই অবস্থায় দৃষ্টিক্ষেত্র অন্ধকার দেখা যাবে। কিন্তু তড়িৎ-ক্ষেত্র প্রয়োগ করা মাত্র দৃষ্টিক্ষেত্র আবার আলোকিত হবে। এক্ষেত্রে বিশ্লেষক নিকলটিকে উভয়দিকে যদৃচ্ছা ঘোরালেও দৃষ্টিক্ষেত্র আর আলোকিত হবে না। সুতরাং বলা যায়, ফ্যারাডে-ক্রিয়ার মতো এখানে কম্পন তলের

ঘূর্ণন হয়নি। কিন্তু উপযুক্ত $\frac{\lambda}{4}$ পাতের সাহায্যে বিশ্লেষণ করলে দেখা যাবে কাচের ব্লক থেকে নির্গত আলোক উপবৃত্তীয়ভাবে সমবর্তিত হয়েছে। সুতরাং এ-থেকে অনুমান করা যায় যে তড়িৎ-ক্ষেত্রের প্রভাবে কাচের ব্লকটি দ্বৈত-প্রতিসারক মাধ্যমে পরিণত হয়েছে।

সমবর্তক নিকল P-কে ঘোরালে সমবর্তিত আলোকের কম্পন তল ঘুরবে। তড়িৎ-ক্ষেত্রের অভিমুখকে অপরিবর্তিত রেখে এইভাবে সমবর্তিত আলোকের কম্পন তলকে ঘুরিয়ে নির্গত আলোককে সূক্ষ্মভাবে বিশ্লেষণ করলে দেখা যাবে উপবৃত্তীয় কম্পনের আকৃতি ও অবস্থান পরিবর্তিত হচ্ছে। গাণিতিক নিয়ম অনুসরণ করে দেখা যাবে, যখন তড়িৎ-ক্ষেত্রের সঙ্গে কম্পন তল 45° কোণে আনত তখনই সর্বাপেক্ষা অধিক ক্রিয়া হয়। কম্পন তল তড়িৎ-ক্ষেত্রের সঙ্গে সমান্তরাল অথবা লম্বভাবে অবস্থিত হ'লে প্রায় কোনও ক্রিয়া লক্ষ্য করা যায় না। তড়িৎ-ক্ষেত্রের দিক-রেখা অপরিবর্তিত রেখে অভিমুখ পরিবর্তিত অর্থাৎ পূর্বের বিপরীতমুখী করলেও ক্রিয়ার কোনও পরিবর্তন হয় না। তড়িৎ-ক্ষেত্রের প্রাবল্যের বর্গের সঙ্গে এই ক্রিয়া সমানুপাতী হয়।

কোনও তরলের কার ক্রিয়া পর্যবেক্ষণ করতে হ'লে তরলটিকে একটি কাচের পাত্রে নিয়ে আলোক-রশ্মির সঙ্গে লম্বভাবে দু-দিক থেকে দুটি ধাতব

চিত্র ১৫০

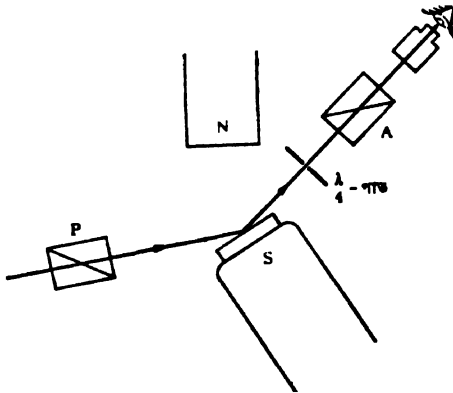
তরলে কার ক্রিয়া।

তড়িৎ-দ্বারের সাহায্যে তড়িৎ-ক্ষেত্র প্রয়োগ করতে হয়। নাইট্রো-বেনজিন, টারপেনটাইন প্রভৃতি তরলের কার ক্রিয়া এই পদ্ধতির সাহায্যে প্রত্যক্ষ করা যায়। এইজাতীয় সরঞ্জামকে **কার কোষ** (Kerr Cell) বলে। কার ক্রিয়ায় উৎপন্ন দুটি উপবৃত্তীয় কম্পনের পরস্পর লম্ব উপাংশের মধ্যে পথ-ব্যবধান নিম্নলিখিত সূত্রটি থেকে পাওয়া যায়ঃ

$$d = K.l.E^2.\lambda \text{ সেমি.}$$

যখন l = আলোক-রশ্মি বরাবর তড়িৎ-দ্বার দুটির দৈর্ঘ্য, E = তড়িৎ-স্থিতীয় এককে (*e.s.u.*) তড়িৎ-ক্ষেত্রের প্রাবল্য, λ = সেণ্টিমিটারে তরঙ্গদৈর্ঘ্য এবং K একটি ধ্রুবক, যার নাম **কার ধ্রুবক** (Kerr Constant)। কয়েকটি ক্ষেত্রে সি.জি.এস. এককে K-এর মান— বেনজিন : $0{\cdot}6 \times 10^{-7}$, জল : 7×10^{-7}, নাইট্রো-বেনজিন : 220×10^{-7}।

কার কোষের সাহায্যে পরীক্ষাগারের মধ্যে খুব সূক্ষ্মভাবে আলোকের বেগ নির্ণয় করা সম্ভব হয়েছে।

৯·৩ কারের চৌম্বক-আলোকীয় ক্রিয়া (Kerr Magneto-optic Effect) :

1888 খৃষ্টাব্দে কার আবিষ্কার করেন সমতল-সমবর্তিত আলোক কোনও তড়িৎ-চুম্বকের একটি মসৃণ মেরুপ্রান্ত (Pole-piece) থেকে প্রতিফলিত হ'লে উপবৃত্তীয় সমবর্তিত আলোকে পরিণত হয়। একটি সমতল-সমবর্তিত রশ্মিগুচ্ছ কোনও ধাতব প্রতিফলক দ্বারা প্রতিফলিত হ'লে সাধারণত উপবৃত্তীয় সমবর্তিত আলোকে পরিণত হয়। সেক্ষেত্রে প্রতিফলককে কোনও চুম্বক-মেরু হওয়ার প্রয়োজন হয় না। কিন্তু এই সাধারণ প্রতিফলনের ক্রিয়া

চিত্র ১৫১

আপতন তলের সঙ্গে সমান্তরাল বা লম্বভাবে কম্পনশীল আপতিত রশ্মির ক্ষেত্রে দেখা যায় না। এই পরীক্ষায় সমবর্তক নিকল P-কে এমন অবস্থানে রাখা হয় যে, P থেকে নির্গত সমবর্তিত আলোকের কম্পন S-মেরুর মসৃণ প্রান্তের উপর আপতন তলের সঙ্গে সমান্তরাল অথবা লম্ব হয়। প্রথমে

চৌম্বক-ক্ষেত্র প্রয়োগ না করে বিশ্লেষক নিকল A-কে বিষম অবস্থানে আনা হয়। এখন চৌম্বক-ক্ষেত্র প্রয়োগ করলে দৃষ্টিক্ষেত্র আলোকিত হয়। সমবর্তিত আলোকের এই পরিবর্তনের প্রকৃতি নির্ধারণের জন্য একটি $\frac{\lambda}{4}$ পাত ব্যবহৃত হতে পারে। $\frac{\lambda}{4}$ পাতটিকে A-র আগে উপযুক্ত অভিমুখাবস্থানে (orientation-এ) ঘুরিয়ে এবং A-কেও প্রয়োজনানুরূপ ঘুরিয়ে দৃষ্টিক্ষেত্র আবার অন্ধকার করা হয়। সুতরাং চৌম্বক-মেরুতে প্রতিফলনের দ্বারা সমতল-সমবর্তিত আলোক উপবৃত্তীয় সমবর্তিত আলোকে রূপান্তরিত হয়, বলা যেতে পারে।

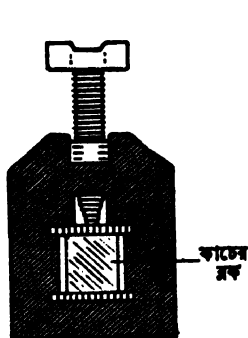
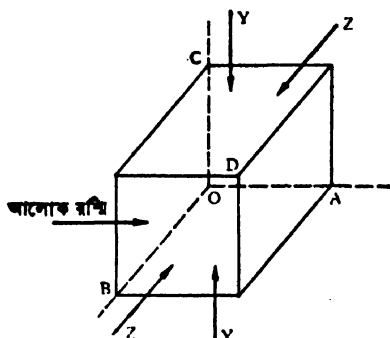
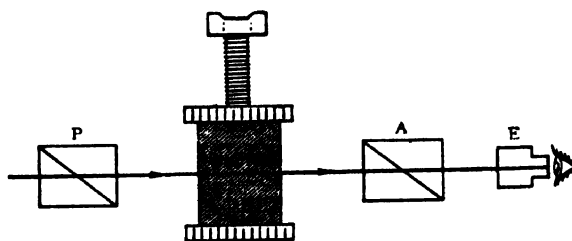
৯.৪ কটন-মুটন চৌম্বক-আলোক ক্রিয়া (Cotton-Mouton Magneto-optic Effect) :

1907 খৃষ্টাব্দে কটন এবং মুটন সমবেতভাবে কার তড়িতালোক ক্রিয়ার সমতুল্য চৌম্বক-আলোক ক্রিয়া আবিষ্কার করেন। কার সেলের ঠিক অনুরূপ সরঞ্জাম নিয়ে আলোক-রশ্মির সঙ্গে লম্বভাবে এখানে তড়িৎ-ক্ষেত্রের পরিবর্তে চৌম্বক-ক্ষেত্র প্রয়োগ করতে হবে। এক্ষেত্রেও পথের ব্যবধান কার ক্রিয়ার অনুরূপ, $d = C.l.H^2\lambda$ সূত্র থেকে পাওয়া যাবে, যখন H = চৌম্বক-ক্ষেত্রের প্রাবল্য এবং C হচ্ছে কটন ধ্রুবক (Cotton Constant)। কেবল এক্ষেত্রে ক্রিয়া অত্যন্ত ক্ষীণ। নাইট্রো-বেনজিনে কার ক্রিয়ার মতো কটন-মুটন ক্রিয়াও অন্য পদার্থের তুলনায় বেশ প্রবল।

৯.৫ যান্ত্রিক বিকৃতির ফলে দ্বৈত-প্রতিসরণ (Double refraction by mechanical strain) :

কোনও কাচের ব্লকের উপর চাপ প্রয়োগ করে বিকৃতি উৎপাদন করলে কাচের ব্লকটির দ্বৈত-প্রতিসারক ধর্ম জন্মায়। আবার চাপ অপসারিত করলেই এই দ্বৈত-প্রতিসারক ধর্ম অন্তর্হিত হয়, অবশ্য যদি কাচকে তার স্থিতিস্থাপকতার সীমার (Elastic limit) ঊর্ধ্বে বিকৃত করা না হয়। সাধারণ স্বচ্ছ কঠিন মাধ্যমের এই ধর্মকে ফোটো-স্থিতিস্থাপকতা (Photo-elasticity) বলে।

কাচের ব্লকটির উপর পীড়ন (Stress)-উৎপাদক বল প্রয়োগের ব্যবস্থা ১৫২-তম চিত্র থেকে বোঝা যাবে। দু-প্রান্তে দুটি জানালা-বিশিষ্ট একটি ইস্পাতের কাঠামোর মধ্যে কাচের ব্লকটি রেখে উপরের স্ক্রুটি ঘোরালে, উপযুক্ত

পীড়ন প্রযুক্ত হয়ে কাচের মধ্যে বিকৃতি ঘটবে। প্রথমে কাচে পীড়ন-বল প্রয়োগ না করে P ও A নিকল দুটিকে (১৫৪-তম চিত্র) পরস্পর বিষম অবস্থানে উপযোজিত করা হয়। তার ফলে দৃষ্টিক্ষেত্র অন্ধকার হবে। এখন কাচে বিকৃতি উৎপাদন করলে দৃষ্টিক্ষেত্র আবার আলোকিত হবে।

চিত্র ১৫২

চিত্র ১৫৩

চিত্র ১৫৪

ধরা যাক, একটি সমতল-সমবর্তিত আলোক-তরঙ্গ কাচের ব্লকটির উপর BOC তলের সঙ্গে লম্বভাবে আপতিত হয়েছে (১৫৩-তম চিত্র)। এখন AB ও CD তলে Y কিলোগ্রাম/সেমি.^{2} এবং AC ও BD তলে Z কিলোগ্রাম/সেমি.^{2} পীড়ন প্রয়োগ করা হ'ল। তাহ'লে আলোকের কম্পন কাচের মধ্যে AB ও AC তলের সমান্তরাল দুটি পরস্পর লম্ব কম্পনে বিশ্লিষ্ট হবে। দ্বৈত-প্রতিসরণের নিয়ম অনুসারে দুটি কম্পন (একটি সাধারণ এবং অপরটি ব্যতিক্রান্ত) বিভিন্ন বেগে কাচের মধ্যে অগ্রসর হবে। কাচ থেকে নিষ্ক্রান্ত হবার সময়ে তাদের মধ্যে উৎপন্ন দশার পার্থক্য নিম্নলিখিত সম্বন্ধ থেকে পাওয়া যাবে :

$$\delta = K(Y - Z).\, l$$

যখন l = কাচের মধ্যে পথের দৈর্ঘ্য, K একটি ধ্রুবক এবং δ রেডিয়ানে প্রকাশিত দশার ব্যবধান। K-র মান পরীক্ষার দ্বারা নির্ণয় করা যায়। $\frac{\lambda}{4}$ পাত্ বা ব্যাবিনেটের পরিপূরকের সাহায্যে নিষ্ক্রান্ত আলোককে সূক্ষ্মভাবে পরীক্ষা করে তার উপবৃত্তীয় কম্পনের বৈশিষ্ট্যগুলি নির্ণয় করা যেতে পারে।

ব্যবহারিক প্রয়োগ: কাচের উপযুক্ত কোমলায়ন (annealing) না হ'লে, কাচের উপাদান স্থানে স্থানে বিকৃত (strained) হয়ে যায়। এইরকম কাচ লেন্স-তৈয়ারী প্রভৃতি কোনও আলোকীয় কাজের অনুপযুক্ত। দুটি বিষম নিকলের মধ্যে কোনও কাচের ব্লককে রাখলে যদি দৃষ্টিক্ষেত্র আলোকিত হয় তাহ'লে বুঝতে হবে কাচের মধ্যে বিকৃতি রয়েছে এবং ঠিকভাবে কোমলায়ন হয়নি।

ফোটো-স্থিতিস্থাপকতার আর একটি ব্যবহার ইঞ্জিনীয়ারিং শিল্পে। কোনও কাঠামো, লোহার কোনও কড়ি (beam), অথবা সেতু প্রভৃতি কার্যক্ষেত্রে কোথায় কিরকম পীড়ন দ্বারা বিকৃত হবে, নিরাপত্তার সীমা অতিক্রম করবে কিনা তা নির্ণয় করার কাজে এই ধর্মকে প্রয়োগ করা হয়। জাইলোনাইট (Xylonite) নামক স্বচ্ছ স্থিতিস্থাপক পদার্থ এখানে উপযুক্ত উপাদান। এই জাইলোনাইটের একটি নমুনা কাঠামো (Model structure) তৈয়ারী ক'রে তার উপর উপযুক্ত পীড়ন প্রয়োগ করা হয়। তারপর সমতল-সমবর্তিত আলোকের সাহায্যে ঐ কাঠামোর বিভিন্ন জায়গায় উৎপন্ন পীড়ন পরীক্ষা করা হয়। পীড়নের মাত্রা কোথাও নিরাপত্তার সীমা অতিক্রম করছে কিনা তা এই পরীক্ষা থেকে বুঝতে পারা যায়।

সারাংশ

শক্তিশালী চৌম্বক-ক্ষেত্রে কোনও স্বচ্ছ মাধ্যম রাখলে, ঐ মাধ্যমে সাময়িকভাবে (চৌম্বক-ক্ষেত্রের স্থিতিকালে) আলোক-সক্রিয়তা জন্মায়, অর্থাৎ সমতল-সমবর্তিত আলোকের কম্পন তল আবর্তিত হয়। এই ক্রিয়াকে আবিষ্কারকের নামানুসারে ফ্যারাডে-ক্রিয়া বলে। উৎপন্ন ঘূর্ণন $\theta = \gamma H \cos \alpha l$ সূত্র থেকে পাওয়া যায়, যখন H = চৌম্বক-ক্ষেত্রের প্রাবল্য, α = চৌম্বক-ক্ষেত্র ও আলোক-রশ্মির মধ্যে আনতি কোণ, l = স্বচ্ছ মাধ্যমের পথের দৈর্ঘ্য এবং γ = মাধ্যমের একটি ধ্রুবক, যার নাম ভারডেটের ধ্রুবক। ঘূর্ণন তড়িৎ-চুম্বকের কুণ্ডলীর প্রবাহের দিকে হ'লে, তাকে পজিটিভ ঘূর্ণন এবং বিপরীত দিকে হ'লে

তাকে নেগেটিভ ঘূর্ণন বলে। আলোক-রশ্মির অভিমুখের উপর এই ঘূর্ণনের দিক নির্ভর করে না।

কাচ, নাইট্রো-বেনজিন প্রভৃতি স্বচ্ছ মাধ্যমের উপর তড়িৎ-ক্ষেত্র প্রয়োগ করলে মাধ্যমের দ্বৈত-প্রতিসরণ ক্রিয়া জন্মায়। এই ধর্মকে কার ক্রিয়া বলে। সমতল-সমবর্তিত আলোক যদি তড়িৎ-ক্ষেত্রের সঙ্গে সমান্তরাল বা লম্বভাবে কম্পনশীল না হয়, তাহ'লেই কার ক্রিয়া লক্ষ্য করা যায় এবং ঐ আলোক উপবৃত্তীয়ভাবে সমবর্তিত আলোকে পরিণত হয়। কার সেলের সাহায্যে সূক্ষ্মভাবে আলোকের বেগ নির্ণয় করা সম্ভব হয়েছে।

কার আরও আবিষ্কার করেন, কোনও তড়িৎ-চুম্বকের মসৃণ মেরুপ্রান্ত থেকে সমতল-সমবর্তিত আলোক প্রতিফলিত হ'লে, উপবৃত্তীয়ভাবে সমবর্তিত আলোকে পরিণত হয়। কটন ও মুটন দেখান, কোনও উপযুক্ত স্বচ্ছ মাধ্যমে চৌম্বক-ক্ষেত্র প্রয়োগ করলেও তা সামান্যভাবে দ্বৈত-প্রতিসারক ধর্ম লাভ করে।

স্থিতিস্থাপক কঠিন মাধ্যমে পীড়ন প্রয়োগ করে বিকৃতি উৎপাদন করলে, মাধ্যমটি বিকৃতির ফলে দ্বৈত-প্রতিসারক ধর্ম অর্জন করে। এই ধর্ম প্রয়োগ করে কাচের কোমলায়ন এবং কোনও কাঠামোর উপর বিভিন্ন জায়গায় কত পরিমাণ পীড়ন পড়ছে তা পরীক্ষা করা যায়।

অনুশীলনী

১। ফ্যারাডের চৌম্বক-আলোক-ক্রিয়া কি? একটি পরীক্ষার সাহায্যে এই ক্রিয়ার বর্ণনা দাও। নেগেটিভ ও পজিটিভ ঘূর্ণনের সংজ্ঞা নির্দেশ কর। সাধারণ আলোক-সক্রিয়তার সঙ্গে এই ক্রিয়ার পার্থক্য কি?

২। ভারডেটের ধ্রুবক কি? এই ধ্রুবক নির্ণয়ের উপযুক্ত একটি পরীক্ষা বর্ণনা কর।

৩। কার ক্রিয়া কাকে বলে? কি উপায়ে পরীক্ষার সাহায্যে এই ক্রিয়া লক্ষ্য করা যায়? এই ক্রিয়ার বৈশিষ্ট্যগুলির আলোচনা কর।

৪। কার কোষ ও তার ব্যবহার সম্বন্ধে সংক্ষিপ্ত আলোচনা কর।

৪। সংক্ষিপ্ত টীকা লেখঃ

(ক) কারের চৌম্বক-আলোকীয় ক্রিয়া ;

(খ) কটন-মুটন ক্রিয়া ;

(গ) ফোটো-স্থিতিস্থাপকতা ও তার ব্যবহারিক প্রয়োগ।

পরিভাষা

Achromatic—অবার্ণ
Amplitude—বিস্তার
Analyser—বিশ্লেষক
Angular frequency—কৌণিক কম্পাঙ্ক
Annealing—কোমলায়ন
Antinodes—সুস্পন্দবিন্দু, আন্তঃনোড
Anti-clockwise—বামাবর্তী
Asymmetric—অপ্রতিসম
Axis—অক্ষ
(Optic) ~—আলোক-অক্ষ
(Major) ~—পরাক্ষ
(Minor) ~—উপাক্ষ
~of symmetry—সাম্যতা অক্ষ
(Fast) ~—দ্রুতাক্ষ
(Slow) ~—ধীরাক্ষ
(Crystallographic) ~—কেলাস-গাঠনিক অক্ষ

Beam—রশ্মিগুচ্ছ, কিরণ
Biaxial—দ্বি-অক্ষীয়
Biquartz—দ্বি-কোয়ার্জ
Blunt corner—স্থূল শীর্ষ
,, Pyramid—স্থূল পিরামিড

Calibration—ক্রমাঙ্কন
,, constant—ক্রমাঙ্কন ধ্রুবক

Cell—কোষ
Charge—আধান, চার্জ
Charged—আহিত
Circular polarisation—বৃত্তীয় সমবর্তন
Central conic—কেন্দ্রীয় কনিক
Cleavage face—বিদারণ তল
Clockwise rotation—দক্ষিণাবর্তী ঘূর্ণন (আবর্তন)
Coherent—সুসংগত
Cone—শঙ্কু, Conical—শাঙ্কব
Co-ordinate plane—স্থানাঙ্ক তল
Complementary—সম্পূরক
,, colour—সম্পূরক রঙ
Composite light—মিশ্র আলোক
Component—উপাংশ
Compression—প্রচাপন
Constant—ধ্রুবক
Convergent—অভিসারী
Corpuscular theory—কণাবাদ
Crest—শীর্ষ
Crossed position—বিষম অবস্থান
Cross-hair—সূচক-সূত্র
Crystal—কেলাস

Dextro-rotation—দক্ষিণাবর্তী ঘূর্ণন

Dichroism—দ্বিরাগত্ব, ডাইক্রোইজ্‌ম্
Dielectric—তড়িৎ-বিভাজক
Diffraction—ব্যবর্তন
~ Grating—ব্যবর্তক ঝাঁঝরি
Diffusion—ব্যাপন
Displacement curve—সরণ-লেখ
,, current—সরণ-প্রবাহ
Double Image Prism—দ্বৈত-বিম্ব প্রিজ্‌ম্
Double refraction—দ্বৈত-প্রতিসরণ
Dualistic Theory (of light)—(আলোকের) দ্বৈতবাদ

Effect—ক্রিয়া
Electricity—তড়িৎ, বিদ্যুৎ
Electro-magnetic Theory —তড়িৎ-চুম্বকীয় তত্ত্ব
Electro-optical shutter —তড়িদালোকীয় শাটার
Ellipsoid—উপবৃত্তীয়ক
,, of Elasticity—স্থিতি-স্থাপকতার উপবৃত্তীয়ক
Elliptical polarisation—উপবৃত্তীয় সমবর্তন
Equivalent path—তুল্যাঙ্ক পথ
Ether—ঈথার
(World) ~—বিশ্ব-ঈথার
(Optical) ~—আলোকীয় ঈথার
Extraordinary Ray—ব্যতিক্রান্ত রশ্মি
Eye-piece—অভিনেত্র

Field of view—দৃষ্টিক্ষেত্র
Fluorescence—প্রতিপ্রভা
Fluorescent—প্রতিপ্রভ
Frequency—কম্পাঙ্ক
Fundamental Particle—মূল কণা
Function—অপেক্ষক
Fringe—পটি
Fringes—ঝালর

Gamma Rays—গামা রশ্মি
Grating—ঝাঁঝরি

Half-wave plate—অর্ধতরঙ্গ পাত
Horizontal—অনুভূমিক
Hypothesis—প্রকল্প

Illumination—দীপন
Infra-red—অবলোহিত
Ionosphere—আয়ন মণ্ডল
Intensity—তীব্রতা
Interference—ব্যতিচার
(Destructive) ~—বিলোপকারী ব্যতিচার
~ Fringes—ব্যতিচারী ঝালর
~ Pattern—ব্যতিচারী নকশা
Isochromatic—সমবর্ণীয়

Laser beam—লেজার রশ্মি
Laevo-rotation—বামাবর্তী ঘূর্ণন

Longitudinal—অনুদৈর্ঘ্য

Mechanical vibration—যান্ত্রিক কম্পন
~ Waves—যান্ত্রিক তরঙ্গ
Medium—মাধ্যম
(Material) ~—বাস্তব মাধ্যম
Modulus of Rigdity—কৃন্তন গুণাঙ্ক

Nodes—নিস্পন্দবিন্দু, নোড
Normal velocity surface—অভিলম্ব-বেগ-নির্ণায়ক তল

Opaque—অনচ্ছ
Optics—আলোকবিজ্ঞান
Optical activity—আলোক-সক্রিয়তা
Optic Axis—আলোক-অক্ষ
Optical path—আলোকীয় পথ
Ordinary Ray—সাধারণ রশ্মি
Orientation—অভিমুখাবস্থান

Path difference—পথ-ব্যবধান
Phase—দশা
Photon—ফোটন
Photo-elasticity—ফোটো-স্থিতিস্থাপকতা
Photo-electricity—ফোটো-তড়িৎ
Photo-electric effect—ফোটো-তড়িৎ-ক্রিয়া

Pile of plates—ফলক-স্তূপ
Polarisation—সমবর্তন
(Plane) ~—সমতল সমবর্তন
Polarised—সমবর্তিত
Polariser—সমবর্তক
Plane of vibration—কম্পন তল
,, ,, polarisation—সমবর্তন তল
Polarising angle—সমবর্তন কোণ
Polarimeter—পোলারিমিটার
Polaroid—পোলারয়েড
Polarising incidence—সমবর্তক আপতন
Pole-piece—মেরুপ্রান্ত
Principal section—মৌলিক ছেদ
,, Plane—মূল তল
,, Indices of Refraction—মুখ্য প্রতিসরাঙ্ক-নিচয়
Progressive Wave—গতিশীল বা সচল তরঙ্গ
Pulsatance—স্পন্দাঙ্ক

Quarter wave-plate—পাদ-তরঙ্গ পাত

Radical—মূলক
Rarefaction—তনূকরণ
Ray—রশ্মি
Relativity, Special theory of ~—বিশেষ আপেক্ষিক তত্ত্ব
Refraction—প্রতিসরণ

Refractive index—প্রতিসরাঙ্ক
Rhomb—রম্ব্
Resultant—লব্ধি, লব্ধ
Resolved parts—বিশ্লেষিতাংশদ্বয়
Retardation plate—মন্দক পাত
Rotatory polarisation—ঘূর্ণ-সমবর্তন
,, Dispersion—ঘূর্ণ-বিচ্ছুরণ

Secondary waves—গৌণ তরঙ্গ-সমূহ
Sensitive tint—সুবেদী আভা
Simple Harmonic Motion—সরল দোলগতি
Simple Harmonic Wave—সরল দোল-তরঙ্গ
Stationary wave—স্থাণু তরঙ্গ
Scattering—বিক্ষেপণ
Shearing Elasticity—কৃন্তন স্থিতিস্থাপকতা
Space—স্থান, দেশ
Spheroid—উপগোলক
Spheroidal shell—উপগোলকীয় মণ্ডল
Spectrometer—বর্ণালি-মিটার
Specific Rotation—ঘূর্ণনাঙ্ক, আবর্তনাঙ্ক
Stretching force—প্রসারণ-বল
Stress—পীড়ন
Strain—বিকৃতি
Source—প্রভব
Symmetry—প্রতিসাম্য

Tint of passage—সীমান্ত আভা
Transverse wave—তির্যক তরঙ্গ
Transparent—স্বচ্ছ
Transmission plane—সঞ্চালন তল
Trough—পাদ (শীর্ষের বিপরীত : opp. of 'crest')

Ultra-violet—রশ্মোত্তর, অতিবেগনী
Uniaxial crystal—একাক্ষিক কেলাস

Valency bond—যোজ্যতার বাহু
Vector—ভেক্টর
Velocity—বেগ
Vertical—ঊর্ধ্বাধঃ, উল্লম্ব

Wave—তরঙ্গ
Wave-motion—তরঙ্গগতি
Wave-form—তরঙ্গরূপ
Wave-front—তরঙ্গমুখ
Wave-length—তরঙ্গদৈর্ঘ্য
Wave normal—তরঙ্গাভিলম্ব
Wave surface—তরঙ্গতল
Wave train—তরঙ্গমালা
Wave theory—তরঙ্গবাদ, তরঙ্গতত্ত্ব